



**TUGAS AKHIR - TE 141599**

## **SISTEM KONTROL PENGERING MAKANAN BERBASIS LED INFRAMERAH**

Khairunnisa Nurhandayani  
NRP 07111440000132

Dosen Pembimbing  
Dr. Muhammad Rivai, S.T., M.T.

DEPATERMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018





**TUGAS AKHIR - TE 141599**

## **SISTEM KONTROL PENGERING MAKANAN BERBASIS LED INFRAMERAH**

Khairunnisa Nurhandayani  
NRP 07111440000132

Dosen Pembimbing  
Dr. Muhammad Rivai, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018





**FINAL PROJECT - TE 141599**

## **FOOD DEHYDRATOR CONTROL SYSTEM BASED ON LED INFRARED**

Khairunnisa Nurhandayani  
NRP 07111440000132

Supervisor  
Dr. Muhammad Rivai, S.T., M.T.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty of Electrical Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2018

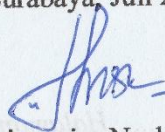


## **PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR**

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “Sistem Kontrol Pengering Makanan Berbasis LED Inframerah” adalah benar-benar hasil karya intelektual sendiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan dan bukan merupakan karya orang lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2018



Khairunnisa Nurhandayani  
NRP. 07111440000132

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....



# **SISTEM KONTROL PENERING MAKANAN BERBASIS LED INFRAMERAH**

## **TUGAS AKHIR**

**Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada**

**Bidang Studi Elektronika  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

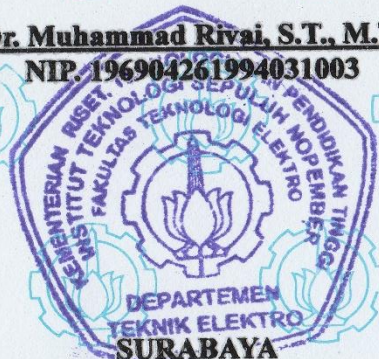
**Menyetujui :**

**Dosen Pembimbing,**



**Dr. Muhammad Rivai, S.T., M.T.**

**NIP. 196904261994031003**



**JULI, 2018**

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

# **SISTEM KONTROL PENGERING MAKAN BERBASIS LED INFRAMERAH**

Nama : Khairunnisa Nurhandayani  
Pembimbing : Dr. Muhammad Rivai, S.T., M.T.

## **ABSTRAK**

Hasil perkebunan seperti buah dan sayur merupakan bahan yang memiliki kandungan air. Namun dengan banyaknya kandungan air menyebabkan buah dan sayur tidak dapat bertahan lama di tempat terbuka. Salah satu cara mengawetkan buah dan sayur tersebut dilakukan dengan proses pengeringan. Pengeringan merupakan cara menghilangkan air dalam makanan untuk memperlambat pertumbuhan mikroorganisme. Pada penelitian ini, pengeringan dilakukan terhadap biji coklat karena Indonesia negara pengekspor biji coklat. Sebelum diekspor, biji coklat terlebih dahulu difermentasi untuk menghasilkan aroma khas coklat dan dilakukan proses pengeringan untuk menghentikan fermentasi pada biji coklat. Jika menggunakan pengering konvensional, hasil pengeringan terlalu bergantung terhadap cuaca atau matahari. Oleh karena itu dibutuhkan suatu sistem pengering makanan yang tidak bergantung terhadap cuaca atau matahari dengan penggunaan daya yang realistis. Pada penelitian ini telah dirancang dan diuji sistem pengering berbasis inframerah. LED *bank* digunakan sebagai sumber sinar inframerah dengan merangkai LED inframerah secara seri dan paralel. Untuk mengetahui perubahan kandungan air yang terjadi pada biji coklat digunakan *load cell* yang keluarannya dikirimkan ke mikrokontroler untuk diolah lebih lanjut dengan sistem kontrol *proportional*. Mikrokontroler yang digunakan yaitu Arduino Uno. Selain biji coklat, objek yang diujikan adalah anggur. Hasil penelitian menunjukkan kecepatan pengeringan biji coklat lebih besar dibandingkan kecepatan pengeringan anggur. Kecepatan pengeringan anggur yaitu 0,27 gram/jam untuk 4 hingga 7-gram anggur dan kecepatan pengeringan biji coklat yaitu 0,75 gram/jam untuk berat yang sama. Dari hasil tersebut diharapkan sistem ini menghasilkan pengeringan yang lebih cepat dibandingkan dengan pengeringan konvensional.

Kata kunci: LED Inframerah, Sistem Kontrol *Proportional*, Sistem Pengering.

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

# **FOOD DEHYDRATOR CONTROL SYSTEM BASED ON LED INFRARED**

Name : Khairunnisa Nurhandayani  
Supervisor : Dr. Muhammad Rivai, S.T., M.T

## **ABSTRACT**

*Plantation products such as fruits and vegetables are substance that contain water. But with so many water contents in fruits and vegetables, it causes fruits and vegetables can not long-lasting in opened room. One of the ways to preserve fruits and vegetables is done by dehydrating process. Dehydration is the way of removing water in food to slow down the growth of microorganisms. In the research, dehydration is done to cocoa beans because Indonesia is the exporting country of cocoa beans. Before being exported, the cocoa beans are first frementated to produce a distinctive chocolate scent and a dehydration is done to stop fermentation process of the cocoa beans. If using a conventional dehydrator, the dehydration results are too depended on the weather or the sun. Therefore, a food dehydration system that is independent of the weather or the sun is required with realistic power consumption. This research has been designed and tested infrared dehydrator system. Bank LED is used as infrared light sources by assembling infrared LED in series and parallel. To know the changes in water content that occurs in the cocoa beans, load cell is used which its output is sent to microcontroller to be processed further with proportional control system. Microcontroller used is Arduino Uno. In addition to cocoa bean, the tested object is grape. The result showed the dehydrated speep of cocoa beans is higher than dehydrated speed of grapes. The dehydrated speed of grape is 0.27 gram per hour for 4 to 7 gram of grape and the dehydrated speed of cocoa beans is 0.75 gram/hour for the same weight. From these results, it is expected that the system produces faster dehydrating than convetional dehydrator.*

*Keywords: Dehydrator System, LED Infrared, Proportional Control System.*

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

## KATA PENGANTAR

*Alhamdulillah*, puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT sehingga penelitian dengan judul “Sistem Pengering berbasis LED Inframerah” dapat berjalan lancar dan selesai tepat pada waktunya.

Penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada pihak – pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian ini. Pihak – pihak tersebut antara lain:

1. Dr. Muhammad Rivai, ST., MT. selaku dosen pembimbing, karena bimbingan, inspirasi, pengarahan, dan motivasi yang diberikan selama pengerjaan penelitian ini dapat mengembalikan semangat penulis.
2. Ir. Tasripan, M.T., Dr.Eng. Ir. Totok Mujiono, M.Kom., Dr. Astria Nur Irfansyah, S.T., M.Eng., dan Fajar Budiman, S.T., M.Sc. sebagai dosen penguji yang telah memberikan kritik, saran dan rekomendasi untuk penelitian yang saya.
3. Rekan-rekan Laboratorium Elektronika 202, Laboratorium Elektronika Industri 402 dan teman – teman elektro 2014 yang banyak membantu dalam penyelesaian penelitian ini.

Penulis menyadari bahwa penelitian ini masih belum sempurna dan masih banyak perbaikan yang perlu dilakukan. Saran, kritik dan masukan baik dari semua pihak sangat membantu penulis terutama untuk berbagai kemungkinan pengembangan lebih lanjut.

Penulis berharap penelitian ini dapat memberikan manfaat terhadap pengolahan produksi pertanian yang memerlukan pengeringan di Indonesia.

Surabaya, Juli 2018

Khairunnisa Nurhandayani

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....



## DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN .....	vii
TUGAS AKHIR.....	ix
ABSTRAK .....	i
<i>ABSTRACT</i> .....	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xv
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Perumusan Masalah .....	4
1.3. Tujuan Penelitian .....	4
1.4. Batasan Masalah .....	4
1.5. Metodologi Penelitian.....	5
1.6. Sistematika Penulisan .....	7
1.7. Relevansi .....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	9
2.1. Pengeringan.....	9
2.2. Radiasi Inframerah .....	11
2.3. Load Cell.....	13
2.3. Sensor Temperatur .....	15
2.4. Analog to Digital Converter.....	16
2.5.1. <i>Sampling</i> .....	16
2.5.2. Kuantisasi.....	17
2.5.3. Rangkaian Referensi .....	18
2.5. Regulator Tegangan .....	18
2.6. Sistem Kontrol PID (Propotional-Integral-Derivative) .....	19
2.9.1. Kontrol <i>Propotional</i> .....	19
2.9.2. Kontrol <i>Integral</i> .....	20
2.9.3. Kontrol <i>Derivative</i> .....	20
2.9.4. Aturan <i>Tuning</i> Ziegler-Nichols .....	21
2.7. LED Bank.....	23
2.8. PWM (Pulse Wide Modulation) dan PWM Driver .....	24
2.9. Arduino Uno.....	25
2.9.1. Pin <i>Power</i> .....	26
2.9.2. <i>Input</i> dan <i>Output</i> .....	27

2.9.3.	Pin Komunikasi.....	27
2.9.4.	Pemrograman .....	28
BAB III PERANCANGAN SISTEM .....		29
3.1.	Diagram Blok Sistem .....	30
3.2.	Perancangan Perangkat Keras.....	31
3.2.1.	LED <i>Bank</i> .....	31
3.2.2.	IR333C .....	32
3.2.3.	PWM <i>Driver</i> .....	33
3.2.4.	<i>Load Cell</i> .....	34
3.2.5.	Modul HX711 .....	35
3.2.6.	LM35D .....	35
3.2.7.	Kipas .....	37
3.2.8.	Desain <i>Prototype</i> .....	38
3.2.9.	<i>Buck Converter</i> .....	39
3.2.10.	Regulator Tegangan .....	40
3.2.11.	Arduino Uno.....	40
3.3.	Perancangan Perangkat Lunak .....	43
3.3.1.	Pembangkit Sinyal PWM .....	43
3.3.2.	Pembacaan <i>Load Cell</i> .....	43
3.3.3.	Pengkompensasian <i>Load Cell</i> terhadap Temperatur.....	44
3.3.4.	Sistem Kontrol PID .....	45
3.3.5.	Perancangan Sistem Keseluruhan .....	46
3.3.6.	Perhitungan Kebutuhan Daya .....	48
BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISIS .....		51
4.1.	Pengujian LED Bank.....	51
4.1.1.	Pengujian LED <i>Bank</i> dengan Tegangan yang Berbeda.....	54
4.1.2.	Pengujian LED <i>Bank</i> dengan Jarak yang Berbeda	55
4.2.	Pengujian PWM Driver .....	58
4.3.	Pengujian Kipas XFAN 80 .....	59
4.4.	Pengujian Load Cell.....	60
4.5.	Pengujian Kontrol PID .....	64
4.6.	Pengujian Sistem Keseluruhan .....	67
BAB V PENUTUP .....		69
5.1.	Kesimpulan .....	69
5.2.	Saran.....	69
DAFTAR PUSTAKA .....		71
LAMPIRAN A .....		75

LAMPIRAN B.....	77
LAMPIRAN C.....	83
LAMPIRAN D .....	91
BIODATA PENULIS .....	93

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1.	Hasil Pengujian: (a) Pengering <i>Hot Air</i> , (b) Pengering Inframerah, dan (c) Pengering <i>Hot Air</i> yang dikombinasikan dengan Inframerah .....	3
Gambar 1.2.	Efek pemberian radiasi ultraviolet, inframerah, dan <i>microwave</i> terhadap molekul .....	4
Gambar 2.1.	Representasi Spektrum Elektromagnetik .....	11
Gambar 2.2.	Contoh <i>Load Cell</i> : (a) Kolom, (b) <i>Bending Beam</i> , (c) <i>Shear Beam</i> .....	14
Gambar 2.3.	Rangkaian <i>Voltage-to-Temperature Dependence</i> dengan Kondisi Arus Konstan .....	15
Gambar 2.4.	Fungsi ADC: <i>Sampling</i> , Kuantisasi, dan Menghubungkan ke Referensi .....	17
Gambar 2.5.	Keluaran <i>Track-and-Hold</i> dan <i>Sample-and-Hold</i> .....	17
Gambar 2.6.	Skema Blok Diagram Kontrol <i>Closed Loop</i> .....	20
Gambar 2.7.	Kurva Respons Berbentuk S .....	22
Gambar 2.8.	Osilasi yang didapat dengan periode $P_{cr}$ .....	22
Gambar 2.9.	(a) Rangkaian Seri, (b) Rangkaian Paralel, dan (c) Rangkaian Kombinasi .....	23
Gambar 2.10.	PWM dengan <i>Duty Cycle</i> Berbeda .....	24
Gambar 2.11.	Arduino Uno <i>Pinout</i> Diagram.....	26
Gambar 3.1.	Desain <i>Prototype</i> Penampakan Luar .....	29
Gambar 3.2.	Diagram Blok Sistem .....	30
Gambar 3.3.	Rangkaian LED <i>Bank</i> .....	32
Gambar 3.4.	Karakteristik LED: (a) Suhu Lingkungan terhadap <i>Forward Current</i> , (b) <i>Forward Current</i> terhadap <i>Radiant Intensity</i> .....	33
Gambar 3.5.	Rangkaian IRF 530 dengan LED <i>Bank</i> .....	33
Gambar 3.6.	Contoh Beberapa Pemasangan <i>Load Cell</i> .....	34
Gambar 3.7.	Pemasangan <i>Load Cell</i> .....	35
Gambar 3.8.	Diagram Blok Aplikasi HX711 .....	36
Gambar 3.9.	Rangkaian <i>Load Cell</i> , HX711, dan Arduino .....	36
Gambar 3.10.	Rangkaian LM35D terhadap Arduino Uno .....	37
Gambar 3.11.	Penampakan Dalam dari <i>Prototype</i> : (a) Kipas untuk Udara Masuk dan Keluar, (b) Kipas untuk Udara Keluar .....	38
Gambar 3.12.	Penampakan <i>Interface</i> Indikator .....	39

Gambar 3.13. Rangkaian XL4005 <i>Typical Application Circuit</i> .....	40
Gambar 3.14. Skematis Rangkaian Regulator Tegangan .....	40
Gambar 3.15. Skematis Rangkaian Arduino Uno .....	42
Gambar 3.16. Pembacaan <i>Load Cell</i> dengan Beban 0 gram ketika Pemanas Diaktifkan.....	45
Gambar 3.17. Diagram Sistem Kontrol PID.....	48
Gambar 3.18. Diagram Alir Sistem Keseluruhan.....	49
Gambar 4.1. Hasil Pembacaan Spektrum Elektromagnetik LED IR333C dengan PWM = 100%.....	52
Gambar 4.2. Kecepatan Pengeringan 100 LED dan 200 LED terhadap Anggur .....	53
Gambar 4.3. Perbandingan Hasil Kecepatan Pengeringan Anggur dan Biji Coklat dengan 200 LED .....	53
Gambar 4.4. Perbandingan Temperatur yang Dihasilkan dari Pengeringan Anggur dan Biji Coklat dengan 200 LED...54	
Gambar 4.5. Hasil Pengujian dengan Tegangan Sumber yang Berbeda terhadap: (a) Anggur, (b) Biji coklat.....	55
Gambar 4.6. Proses Pengeringan Anggur dengan 200 LED .....	56
Gambar 4.7. Hasil Pengujian dengan Jarak Pengeringan yang Diubah terhadap Anggur .....	56
Gambar 4.8. Hasil Pengujian dengan Jarak Pengeringan yang Diubah terhadap Biji Coklat.....	57
Gambar 4.9. Perbedaan Temperatur Pengujian dengan Jarak Berbeda terhadap: (a) Anggur, (b) Biji Coklat .....	57
Gambar 4.10. Hasil Pengeringan Selama Tiga Jam dengan Nilai PWM Berbeda terhadap: (a) Anggur, (b) Biji Coklat.....	58
Gambar 4.11. <i>Prototype</i> dengan Kipas Keluar dan Kipas Masuk.....	60
Gambar 4.12. <i>Prototype</i> dengan Kipas Keluar .....	60
Gambar 4.13. Hasil Pengeringan dengan Nilai Tegangan Kipas Diubah – ubah terhadap Anggur .....	61
Gambar 4.14. Grafik dari data ADC yang diambil .....	62
Gambar 4.15. Hasil Pengukuran 0-gram terhadap Waktu Ketika PWM Tidak Aktif .....	63
Gambar 4.16. Pembacaan <i>Load Cell</i> ketika Pemanas diaktifkan: (a) Perubahan terhadap Waktu, (b) Perubahan terhadap Temperatur .....	63
Gambar 4.17. Hasil Kompensasi dengan grafik terhadap: (a) Waktu (b) Temperatur .....	64
Gambar 4.18. Pengambilan Data dengan Masukan <i>Step Up</i> .....	66

Gambar 4.19. Menentukan Nilai L dan T dari Grafik Masukan <i>Step Up</i> .....	66
Gambar 4.20. Hasil Pengeringan Sistem Kontrol terhadap Anggur: (a) Sebelum, (b) Sesudah.....	68
Gambar 4.21. Realisasi <i>Prototype</i> Pengering.....	68

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....



## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1.	Negara Eksportir Kakao (Coklat) Terbesar Dunia, 2011 – 2015.....	2
Tabel 2.1.	Kandungan Air pada Beberapa Hasil Pertanian dan Perkebunan .....	11
Tabel 2.2.	Karakteristik Divisi Inframerah .....	12
Tabel 2.3.	Karakteristik <i>Linear Regulator</i> dan <i>Switching Regulator</i> .....	19
Tabel 2.4.	Aturan Ziegler-Nichols <i>Tunning</i> terhadap Respons Plan ..	22
Tabel 2.5.	Aturan Ziegler-Nichols <i>Tunning</i> terhadap Penguatan dan Periode Kritis .....	23
Tabel 2.6.	Spesifikasi Arduino Uno .....	25
Tabel 3.1.	Spesifikasi Sensor Temperatur LM35D .....	36
Tabel 3.2.	Spesifikasi Kipas “Deep Cool” XFAN 80.....	37
Tabel 3.3.	Spesifikasi Modul <i>Buck Converter</i> .....	39
Tabel 4.1.	Hasil Pengujian terhadap Empat nilai PWM dalam Waktu Tiga Jam terhadap Anggur.....	59
Tabel 4.2.	Hasil Pengujian terhadap Empat nilai PWM dalam Waktu Tiga Jam terhadap Biji Coklat .....	59
Tabel 4.3.	Hasil Pengeringan Anggur dan Biji Coklat .....	60
Tabel 4.4.	Data ADC dari beberapa benda .....	61
Tabel 4.5.	Hasil Pembacaan Berat Benda dengan Persamaan yang Diketahui .....	62
Tabel 4.6.	Hasil Pengujian Sistem PID dengan $K_p = 2,35$ , <i>set point</i> anggur dan berat awal 26,88 gram.....	65

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Hasil – hasil perkebunan seperti buah dan sayur merupakan bahan yang selain mengandung banyak vitamin juga kaya akan kandungan air. Namun dengan banyaknya kandungan air menyebabkan buah dan sayur tidak dapat bertahan lama. Pada umumnya untuk mengawetkan buah dan sayur dilakukan pendinginan atau pengeringan. Pendinginan dilakukan tanpa perlu mengubah bentuk asal dari buah atau sayur. Sedangkan pengeringan dapat mengubah bentuk buah atau sayur. Pengeringan merupakan salah satu cara pengawetan makanan dengan cara menghilangkan air untuk memperlambat pertumbuhan mikroorganisme pengurai [1].

Indonesia merupakan salah satu negara pengekspor buah coklat. Pada tahun 2015, ekspor coklat atau kakao menyumbangkan devisa USD 1,01 milyar atau 3,78% dari keseluruhan ekspor komoditas perkebunan dimana 28,79% berupa biji coklat dan menduduki peringkat penyumbang devisa terbesar ke lima. Pada periode 2011 – 2015, Indonesia menduduki peringkat ke 11 dengan kontribusi 2,73% dari total ekspor dunia dan data ekspor dapat dilihat pada Tabel 1.1 [2]. Untuk perkembangan luas area kebun coklat di Indonesia dalam kurun waktu 1980 – 2016 umumnya meningkat dengan rata – rata 11,48% per tahun dan hasil produksi coklat Indonesia juga mengalami peningkatan 13,99 % per tahun [3]. Dengan pengelolaan biji coklat yang optimal akan menghasilkan produk yang lebih layak dalam jumlah banyak dan dapat meningkatkan nilai ekspor dari bidang perkebunan.

Sebelum diekspor, biji coklat terlebih dahulu difermentasi dan dikeringkan. Pengeringan biji coklat dilakukan untuk mengurangi kelembapan atau kandungan air dari 50% menjadi 7%. Lama pengeringan dengan cara konvensional membutuhkan waktu sekitar tiga hingga delapan hari. Pengeringan harus dilakukan dengan tepat, tidak terlalu kering dan tidak terlalu basah. Jika pengeringan tidak dilakukan tepat, proses kimia yang terjadi di dalam biji coklat akan tidak bekerja maksimal atau dapat bekerja terlalu maksimal sehingga biji yang dihasilkan tidak sesuai dengan kualitas yang diinginkan.

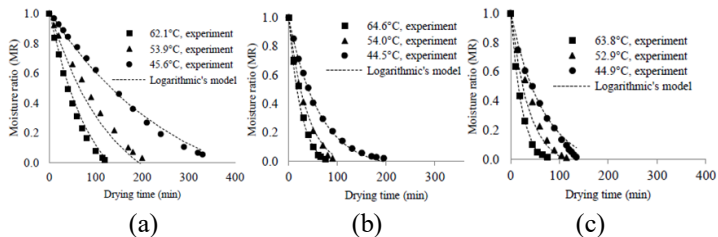
**Tabel 1.1.** Negara Eksportir Kakao (Coklat) Terbesar Dunia, 2011 – 2015[2]

No.	Eksportir	Nilai Ekspor (000 USD)					Rata – Rata	Share (%)
		2011	2012	2013	2014	2015		
1	Jerman	5033694	4798465	5251221	6022452	5371434	5295453	11.76
2	Belanda	5019891	4163944	4666917	5463094	4665559	4795881	10.65
3	Pantai Gading	4158529	3377001	3121252	4627478	4661837	3989219	8.86
4	Belgia	2978523	2939352	3130384	3447538	3427746	3184709	7.07
5	Perancis	2348075	2226868	2289089	2396536	2168056	2285725	5.08
6	Ghana	2294371	2036893	1457582	3018451	2444685	2250396	5.00
7	USA	1592858	1717000	1870355	2117069	1942857	1848028	4.10
8	Italia	1554786	1668397	1670127	1787105	1637587	1663600	3.70
9	Nigeria	1130193	3795647	2023527	848199	391536	1637820	3.64
10	Polandia	1168292	1204627	1496407	1647253	1558605	1415037	3.14
11	Indonesia	1345430	1053447	1151485	1244530	1307771	1220532	2.71
	Lainnya	14727831	14523615	15306208	16930979	15693747	15436476	34.29
	Dunia	43352473	43505256	43434554	49550684	45271420	45022877	100.00

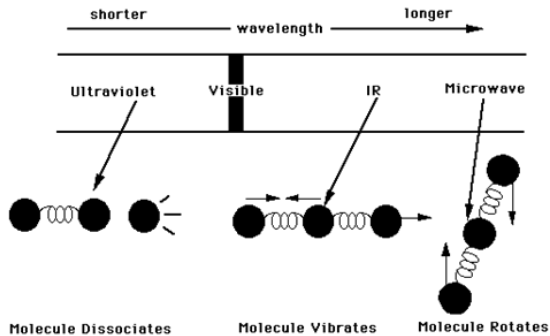
Selain biji coklat, hasil perkebunan yang ada di Indonesia yaitu anggur. Anggur merupakan tanaman buah-buahan yang dapat dipanen lebih dari satu kali dalam setahun. Produksi anggur mengalami peningkatan pada tahun 2015 dengan berat 11.146 ton menjadi 11.410 ton [4]. Cara mengkonsumsi anggur bisa dimakan langsung atau bisa juga dikeringkan hingga menjadi kismis. Di Indonesia sendiri anggur merupakan salah satu jenis buah yang diekspor. Namun, anggur yang diekspor baru dalam bentuk buah segar saja. Untuk anggur yang dikeringkan menjadi kismis membutuhkan waktu 15 hingga 20 hari penjemuran [5]. Selain pengeringan yang lama, kismis hasil penjemuran yang dihasilkan akan terkena debu atau benda asing lain yang mungkin akan sulit dibersihkan.

Beberapa pengujian telah dilakukan. Salah satunya yaitu pengujian keefektifan pengering dengan metode *hot air drying*, inframerah, dan *hot air* yang dikombinasi dengan inframerah. Hasil yang didapat ditunjukkan pada Gambar 1.1. Dari pengujian tersebut, waktu pengeringan tercepat adalah pengeringan dengan menggunakan pengering inframerah dan pengering *hot air* dikombinasi dengan inframerah. Perbedaan hasil dari kedua metode tersebut adalah pada temperatur rendah seperti 44,5 °C, waktu pengeringan dengan metode pengering *hot air* dengan inframerah memiliki waktu pengeringan yang lebih cepat dibandingkan dengan metode pengering inframerah [6]. Selain itu juga terdapat pengujian pengeringan dengan metode *low pressure superheated steam*, *low pressure superheated steam* dengan inframerah, vakum, dan vakum

dengan inframerah terhadap pisang. Pengujian tersebut menghasilkan data yaitu dalam temperatur yang sama, besar pori – pori pada pisang dengan metode vakum dengan inframerah lebih besar dibandingkan dengan yang lain [7]. Dengan besarnya pori – pori, pengeringan akan terjadi lebih cepat. Dari dua pengujian tadi menunjukkan bahwa dibutuhkan suatu sistem pengering yang dapat mengoptimalkan sistem pengering dengan sumber pengering yaitu inframerah. Bentuk dari sumber pengering dari sistem pengering adalah LED *bank* [8]. Selain karena memiliki panjang gelombang pendek, penggunaan sinar inframerah sendiri dipilih karena ketika objek diberikan sinar inframerah, molekul pada objek akan bergetar sehingga menghasilkan panas dapat dilihat pada Gambar 1.2 [9]. Kualitas dari hasil pengeringan dilihat dari perubahan warna dan *rehydration*. Pengering inframerah memberikan efek perubahan warna yang tidak signifikan dan peningkatan proses *rehydration* [7]. Nutrisi dari makanan yang dikeringkan tidak mengalami perubahan karakteristik kualitas seperti vitamin, protein dan antioksidan sehingga aman dikonsumsi [10].



**Gambar 1.1.** Hasil Pengujian: (a) Pengering *Hot Air*, (b) Pengering Inframerah, dan (c) Pengering *Hot Air* yang dikombinasikan dengan Inframerah [4]



Gambar 1.2. Efek pemberian radiasi ultraviolet, inframerah, dan *microwave* terhadap molekul [9]

## 1.2. Perumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana membuat sistem yang mampu mempercepat proses pengeringan makanan
2. Bagaimana membuat sistem memberikan efisien daya listrik dan keakuratan hasil pengeringan yang tinggi.

## 1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mendesain sistem pengering yang menggunakan inframerah LED *bank* dalam mempercepat proses pengeringan makanan.
2. Mengimplementasikan sistem kontrol *propotional* untuk mengatur intensitas inframerah LED *bank*.

## 1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Objek makanan yang di uji yaitu anggur dan biji coklat karena keduanya merupakan produksi ekspor Indonesia
2. PWM *Driver* yang digunakan berupa rangkaian sederhana yang terdiri dari IRF 530 di mana kaki *gate* diberi masukan PWM Arduino
3. Berat objek yang dipanaskan menyesuaikan dengan kapasitas dari *platform* pengering dan *load cell*.

## 1.5. Metodologi Penelitian

Langkah-langkah yang dikerjakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

### 1. Studi literatur Sistem Pengering dan *Load Cell*

Pada bagian ini, peneliti mencari referensi melalui buku dan *paper* yang terpublikasi. Referensi yang dicari yaitu mengenai karakteristik inframerah yang berhubungan dengan proses pengeringan, sistem kontrol yang dapat diterapkan dalam sistem pengering ini serta mempelajari sistem kerja *load cell* dan sensor temperatur.

### 2. Perancangan dan Pengujian LED *Bank*

LED *Bank* dijadikan sebagai sumber pemanas. Setelah melakukan studi literatur, rancangan rangkaian LED *bank* dibuat dengan berdasar kepada literatur yang telah dibaca. Setelah melakukan akan dibuat *prototype* LED *bank* dan dilakukan uji coba terhadap rangkaian tersebut.

### 3. Perancangan dan Pengujian PWM *Driver* terhadap LED *Bank*

PWM *driver* berfungsi sebagai pengatur besarnya sumber listrik (tegangan) yang diberikan ke LED *bank* dengan mengatur lebarnya *duty cycle*. Pada langkah ini, rangkaian LED *bank* akan digabungkan dengan rangkaian PWM dan dilakukan uji coba terhadap perubahan nilai PWM terhadap intensitas LED *bank*.

### 4. Pengkalibrasian dan Pengujian Pembacaan *Load Cell*

*Load cell* digunakan sebagai *feedback* sistem yang mana akan membaca seberapa banyak pengurangan berat kandungan air dari objek yang dikeringkan. Sebelum digunakan dalam sistem, *load cell* perlu dikalibrasi terlebih dahulu terhadap benda yang beratnya sudah diketahui. Setelah dilakukan kalibrasi, *load cell* dapat diuji coba dengan membaca berat benda-benda lain. Pada bagian ini juga dilakukan pengkompensasian pembacaan berat terhadap temperatur.

### 5. Perancangan dan Pengujian *Buck Converter* dan Regulator

Sumber listrik yang digunakan pada penelitian ini yaitu modul *power supply*. *Power supply* tersebut mengonversi sumber *Alternate Current* (AC) menjadi *Direct Current* (DC). Sebelum sumber listrik masuk ke rangkaian LED *Bank*, kipas, dan Arduino Uno, sumber listrik dilewatkan melalui regulator agar dihasilkan tegangan dan arus yang sesuai dengan kebutuhan rangkaian.

## **6. Penggabungan dan Pengujian Rangkaian Keseluruhan**

Pada bagian ini, penelitian ini mengintegrasikan *load cell* yang merupakan sensor pembaca tekanan, modul *power supply* yang disambungkan ke regulator, kipas sebagai instrumen yang mengatur keluar masuknya uap hasil pengeringan di mana bersifat opsional dan LED *bank* sebagai sumber inframerah. Untuk menyalakan LED *bank* dibutuhkan energi yang dihasilkan dari sumber listrik dari PLN yang telah dikonversi sesuai dengan kebutuhannya. Jumlah intensitas inframerah yang dipancarkan dipengaruhi oleh besarnya tekanan dari biji coklat akibat kandungan air yang ada di dalamnya terbaca dengan *load cell*. Kemudian dilakukan pengujian rangkaian keseluruhan dan pengambilan data.

## **7. Perancangan Bentuk *Prototype***

Untuk rancangan *prototype* yang dibuat dalam bentuk ruangan kecil yang dapat men-*support* bagian – bagian dari sistem pengering ini. Bentuk *prototype* yang dibuat sederhana dan kuat menopang beban dari objek yang dikeringkan. Selain kuat terhadap berat objek, *prototype* juga kuat terhadap panas yang dipancarkan LED *bank*.

## **8. Perancangan Sistem Kontrol pada Sistem Pengering**

Pada bagian ini, peneliti akan menerapkan sistem kontrol *proportional* pada sistem pengering biji coklat. Sistem pengering tersebut akan diuji dengan menggunakan sistem kontrol proposional. Kemudian diambil data terbaik dari kombinasi sistem kontrol tersebut.

## **9. Pengujian Kerja Sistem dan Pembuatan *Prototype***

Pada bagian pengujian dan analisa, pengujian dilakukan dengan cara melakukan pengeringan biji coklat dan anggur secara langsung untuk menguji keserasian sistem. Setelah dilakukan pengujian, dilakukan evaluasi dari sistem pengering tersebut. Kemudian, peneliti merancang *prototype* akhir.

## **10. Penyusunan Laporan**

Tahap penyusunan laporan merupakan tahap terakhir dari proses pengerjaan penelitian ini. Laporan berisi seluruh hal yang berkaitan dengan penelitian yang telah dikerjakan yaitu meliputi pendahuluan, studi literatur, tinjauan pustaka, perancangan dan pembuatan sistem, pengujian, analisa, serta penutup.

## **11. Penyusunan Jurnal POMITS**

Setelah dibuat buku, hasil dari penelitian tersebut akan ditulis dalam bentuk jurnal POMITS. Hal ini dilakukan untuk



mempublikasikan hasil dari penelitian yang telah dilakukan.

## 1.6. Sistematika Penulisan

Dalam buku penelitian ini, terdapat lima bab yang akan memaparkan penelitian tersebut dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

- Bab I : Pendahuluan  
Bab ini terdiri penjelasan mengenai latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, metodologi, sistematika penulisan, dan relevansi.
- Bab II : Tinjauan Pustaka  
Bab ini menjelaskan tentang teori dasar dan penunjang yang g dibutuhkan dalam pengerjaan penelitian ini. Teori dasar dan penunjang tersebut antara lain radiasi inframerah, *load cell*, sel surya (*photovoltaic*), sistem kontrol PID, LED *bank*, PWM, dan Arduino Uno.
- Bab III : Perancangan Sistem  
Bab ini membahas perancangan sistem pengering baik *hardware* maupun *software*.
- Bab IV : Pengujian dan Analisis  
Bab ini menjelaskan tentang hasil uji coba rangkaian *hardware* secara terpisah dan rangkaian *hardware* keseluruhan beserta *software*-nya serta hasil Analisa dari sistem tersebut.
- Bab V : Penutup  
Bab ini membahas kesimpulan terdiri dari kelebihan ataupun kekurangan yang diperoleh dari pembuatan alat serta saran untuk pengembangan alat lebih lanjut.

## 1.7. Relevansi

Hasil penelitian ini diharapkan untuk:

1. Dapat mempercepat proses pengeringan makanan tanpa dipengaruhi oleh cuaca.
2. Penggunaan sumber listrik yang efisien

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Pengeringan

Proses pengeringan merupakan salah satu metode pengawetan terhadap makanan. Proses pengeringan lebih jelasnya merupakan kejadian pemindahan massa dan suhu di mana air bergerak dari dalam bagian objek yang dikeringkan ke permukaan [11]. Keuntungan pengeringan selain untuk mencegah tumbuhnya mikroorganisme pembusukan makan, pengeringan juga berguna untuk meminimalkan tempat penyimpanan makan karena berat dan volume objek yang dikeringkan berkurang. Cara menghitung perubahan masa air pada objek yang dikeringkan dapat dilihat pada persamaan (2.1) [5], [12], [13].

$$\text{Besar air yang dipindahkan} = \frac{\text{Berat awal objek} - \text{Berat objek akhir}}{\text{Berat awal objek}} \quad (2.1)$$

Salah satu cara pengeringan terhadap buah dan sayur yaitu menggunakan inframerah, *hot air drying*, *microwave*, dan *low pressure super-heated steam*. *Hot air drying* merupakan sistem pengeringan yang banyak digunakan. Namun, sistem ini memiliki efisiensi energi yang rendah dan waktu pengeringan yang cukup lama. Hal ini telah diuji pada pengujian pengeringan daun Pandanus [6]. Pada pengujian ini dilakukan pengujian terhadap daun Pandanus dengan *hot-air drying*, pengering inframerah, dan kombinasi keduanya. Hasil yang didapatkan yaitu pengeringan inframerah memberikan waktu pengeringan lebih cepat dibandingkan dengan dua pengering yang lain dan efisiensi energi yang tinggi dimiliki oleh pengeringan inframerah dan kombinasi inframerah dengan *hot air drying*. *Hot air drying* sendiri memiliki beberapa masalah umum seperti pengaktifan *non-enzymatic browning*, tingkat *rehydration* yang rendah dan pengurangan nutrisi hasil pengeringan [7]. Selain pengujian tersebut, pengeringan inframerah telah diuji juga pada pengujian lain yaitu pengeringan anggur [8]. Dari pengujian terhadap pengeringan anggur, pengering inframerah selain mempercepat pengeringan, juga meningkatkan kualitas produksi. Pengujian yang membandingkan hasil pengeringan dengan *low pressure super-heated steam* dengan pengering inframerah telah dilakukan [7]. Pada

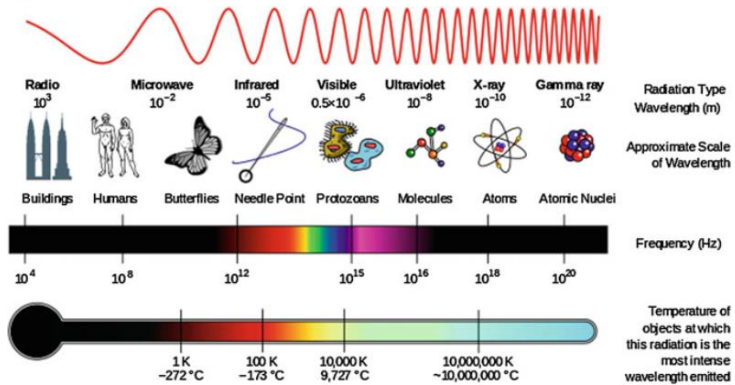
pengujian ini, ketika *low pressure super-heated steam* dikombinasi dengan pengering inframerah menghasilkan nilai porositas yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa menggunakan inframerah. Nilai porositas merupakan perubahan ukuran pori-pori terhadap benda yang dikeringkan yang dapat mempengaruhi proses transfer massa. Pengeringan inframerah juga memiliki keuntungan yaitu pengeringan yang merata, transfer panas yang tinggi, dan kualitas pengeringan yang tinggi yang diukur berdasarkan tingkat rehydration dan warna hasil pengeringan. Proses pengeringan dengan inframerah terjadi ketika suatu benda dipancarkan inframerah, benda tersebut akan menyerap pancaran tersebut dan mengubahnya menjadi panas. Pengeringan dengan inframerah lebih tepat digunakan pada pengeringan benda dengan ketebalan rendah seperti tekstil dan kertas [14]. Salah satu sumber inframerah yang dapat digunakan yaitu LED inframerah yang disusun secara matriks atau dibuat *array* [8]. *Array* LED inframerah yang pernah dikembangkan dapat memancarkan cahaya inframerah dengan temperatur di atas 1400 K [15]. Sedangkan pengering dengan *microwave* memiliki keuntungan yang hampir sama dengan inframerah. Pengujian *microwave* telah dilakukan terhadap kentang [16]. Hal yang membedakan pengeringan dengan inframerah dan *microwave* adalah untuk benda tebal lebih baik menggunakan inframerah karena memiliki panjang gelombang yang kecil sehingga dapat menembus objek lebih dalam. Selain itu, molekul Oksigen serta Hidrogen lebih efisien menyerap energi gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang yang rendah [17].

Setiap buah dan sayur memiliki kandungan air yang berbeda-beda ketika masih segar dan kandungan air ketika telah dikeringkan. Hal tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1.** Kandungan Air pada Beberapa Hasil Pertanian dan Perkebunan [18]

Komoditas	Kandungan Air Awal (%)	Kandungan Air Setelah Dikeringkan (%)
Gandum, Gandum Hitam	20 – 25	14 – 16
Apel	80	24
Padi, Jagung	25 – 45	12 – 14
Kopi	50	11
Kembang Kol	85	15
Biji Coklat	50	7
Wortel	8 – 70	5 – 18
Tomat	20 – 96	5 – 10
Kacang Hijau	80	5
Bawang Merah, Bawang Putih	80	4
Cabai	80	5
Kubis	80	4 – 6
Jahe	71	13
Pisang	80 – 90	10 – 15
Anggur	70 – 80	15 – 20
Jambu	80	7
Aprikot	85	18

## 2.2. Radiasi Inframerah



**Gambar 2.1.** Representasi Spektrum Elektromagnetik [19]

**Tabel 2.2.** Karakteristik Divisi Inframerah [19]

No.	Divisi Inframerah	Karakteristik
1	<i>Near Infrared</i>	Terjadinya penyerapan air dan jenis inframerah ini umumnya digunakan pada komunikasi kabel optik
2	<i>Middle Infrared</i>	Digunakan sebagai pendeteksi objek peluru kendali
3	<i>Far Infrared</i>	Digunakan sebagai <i>thermal imaging</i> di mana pengambilan gambar tidak memerlukan cahaya luar atau sumber cahaya seperti matahari, bulan atau <i>infrared illuminator</i>

Radiasi inframerah merupakan radiasi yang dihasilkan spektrum inframerah yang memiliki panjang gelombang 760 nm hingga 1 mm seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1. Radiasi inframerah dikenal juga sebagai radiasi termal. Semua benda yang bertemperatur di atas absolut zero, atau 0 K, memancarkan radiasi inframerah. Untuk spektrum inframerah dapat dibagi menjadi tiga divisi berdasarkan sifat pemancaran inframerah terhadap daerah tertentu yaitu *near infrared*, *middle infrared*, dan *far infrared*. *Near infrared* memiliki panjang gelombang 760 nm hingga 2,5  $\mu\text{m}$ . Untuk *middle infrared* memiliki panjang gelombang lebih dari 2,5  $\mu\text{m}$  hingga 50  $\mu\text{m}$ . Sedangkan *far infrared* memiliki panjang gelombang lebih dari 50  $\mu\text{m}$  hingga 1 mm [19]. Jika dilihat dari panjang gelombang dari pengelompokan tersebut, setiap divisi inframerah memiliki karakteristik tersendiri yang dapat dilihat pada Tabel 2.2 [20].

Sinar inframerah umumnya dapat digunakan dalam bidang industri, kesehatan, astronomi, dan lain – lain. Salah satu penggunaan sinar inframerah yaitu pemanasan inframerah (*infrared heating*). Ketika sinar inframerah dipancarkan dari panel inframerah ke benda – benda yang ada di sekitarnya, radiasi inframerah tersebut diserap oleh molekul dalam objek dan molekul tersebut mulai bergetar (*vibrating*). Molekul tersebut terus menyerap energi dan frekuensi getaran terus meningkat hingga bernilai sama dengan frekuensi sinar inframerah. Ketika frekuensi molekul pada objek yang terpancar

inframerah memiliki besar frekuensi yang sama dengan sinar inframerah, objek tersebut akan memantulkan kembali sinar inframerah ke objek lainnya dan berlaku untuk seterusnya.

Bahaya dari penggunaan sinar inframerah adalah sebagai berikut ini:

- Radiasi inframerah yang kuat dapat menyebabkan kerusakan mata dengan merusak retina atau kornea. Maka dari itu digunakan kaca mata (*goggle*) saat bekerja menggunakan sinar inframerah sebagai salah satu pencegahan karena sinar inframerah tidak terlihat.
- Ketika menggunakan inframerah untuk terapi, penggunaan intensitas inframerah harus di regulasi. Jika tidak dilakukan hal tersebut dapat menyebabkan luka bakar.
- Orang-orang tua dapat dengan mudah terkena tekanan darah rendah jika terekspos radiasi inframerah.
- Jika terekspos radiasi inframerah terlalu lama, tubuh dapat kehilangan cairan atau air sehingga menyebabkan dehidrasi.

## 2.3. Load Cell

*Load cell* merupakan sensor yang menghasilkan keluaran berupa sinyal listrik yang berubah ketika gaya atau berat diberikan [21], [22]. Berdasarkan prinsip fisik, terdapat tiga jenis *load cell* yang digunakan dalam sistem penimbangan industri yaitu *magnetic transducer*, *oscillating string transducer*, dan *strain gauge load cell*.

### 2.3.1. Strain Gauge Load Cell

Pengukuran berat pada alat – alat pabrik mayoritas menggunakan jenis *load cell strain gauge*. *Strain gauge* merupakan resistan listrik yang dibuat sebagai pola kawat paralel atau *foil* logam tipis yang tertanam ke dalam isolasi berbahan plastik. Kemampuan dari *load cell* dapat mengukur beban 5 N hingga 40 MN dengan tingkat akurasi 0,1% hingga 1% dan mengkompensasi panas [22].

Besarnya nilai resistansi ( $R$ ) dapat dihitung dengan mengetahui variabel resistivitas kabel metal atau *foil* ( $\beta$ ), panjang kawat atau *foil* ( $L$ ), dan luas penampang ( $A$ ) dengan persamaan sebagai berikut:

$$R = \beta \cdot \frac{L}{A} \quad (2.2)$$

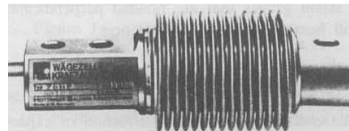
Dengan melakukan beberapa penurunan persamaan *logarithmic*

*derivative* didapatkan *gauge factor*. *Gauge factor* dapat menentukan hubungan antara perubahan resistansi terhadap perubahan gesekan dalam panjang. Secara teori, *gauge factor* memiliki nilai di antara 1,6 hingga 2,4 dan umumnya *strain gauge* memiliki *gauge factor* (G) mendekati 2.

*Strain gauge* memiliki beberapa bentuk yaitu *load cell* tipe kolom dimana gaya diberikan pada sumbu longitudinal terhadap kolom besi silinder, *load cell* tipe *bending beam* dimana gaya diberikan melalui lubang sebelah kanan, dan *load cell* tipe *shear beam* dimana *strain gauge* diaplikasikan pada sudut  $45^\circ$  terhadap sumbu longitudinal. Masing – masing jenis *strain gauge* dapat dilihat pada Gambar 2.2.



(a)



(b)

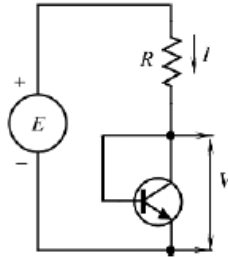


(c)

**Gambar 2.2.** Contoh *Load Cell*: (a) Kolom, (b) *Bending Beam*, (c) *Shear Beam* [23]



### 2.3. Sensor Temperatur



**Gambar 2.3.** Rangkaian *Voltage-to-Temperature Dependence* dengan Kondisi Arus Konstan [23]

Sensor temperatur mengubah energi panas menjadi sinyal listrik. Pengaplikasian sensor ini dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi. Dioda dan transistor bipolar merupakan salah satu komponen yang dapat digunakan sebagai sensor ini karena kedua komponen menunjukkan ketergantungan terhadap panas yang cukup tinggi. Keunggulan dari penggunaan sensor ini yaitu tingginya derajat linearitas yang dihasilkan [23]. Persamaan tegangan-arus dari diode dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$I = I_0 e^{\left(\frac{qV}{2kT}\right)} \quad (2.3)$$

Dimana  $I_0$  merupakan arus saturasi,  $q$  adalah muatan elektron,  $V$  mewakili tegangan, serta  $k$  dan  $T$  masing – masing merepresentasikan konstanta Boltzman dan temperatur dalam Kelvin. Hubungan temperatur terhadap tegangan dapat dicspresikan dengan persamaan berikut:

$$V = \frac{E_g}{q} - \frac{2kT}{q} (\ln K - \ln I) \quad (2.4)$$

Dengan  $E_g$  mewakili *energy band gap* untuk silikon pada temperatur 0 K dan  $K$  adalah konstanta temperatur-independen. Dari persamaan (2.3) ketika *junction* dioperasikan dalam kondisi arus tetap, persamaan kemiringan antar tegangan dan temperatur dapat dinyatakan sebagai:

$$b = \frac{dV}{dT} - \frac{2k}{q} (\ln K - \ln I) \quad (2.5)$$

Rangkaian transistor yang digunakan sebagai sensor temperatur dapat dilihat pada Gambar 2.3. Arus yang melewati transistor ditentukan dengan persamaan berikut:

$$I = \frac{E-V}{R} \quad (2.6)$$

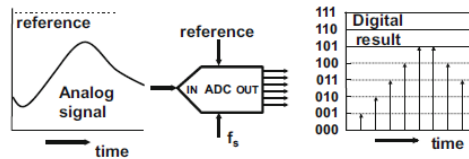
Ketika temperatur meningkat, sensitifitas transistor akan berkurang dan menunjukkan ketidaklinearan. Namun ketidaklinearan tersebut dapat diatasi dalam pengolahan sinyal. Oleh karena itu, sensor temperatur dengan transistor (dioda) menjadi alat yang menarik dan banyak digunakan. Sebagai contoh LM35Z memiliki keluaran linear dengan sensitivitas 10mV/°C dan *error* non-linear sebesar ±0,1°C [23].

## 2.4. Analog to Digital Converter

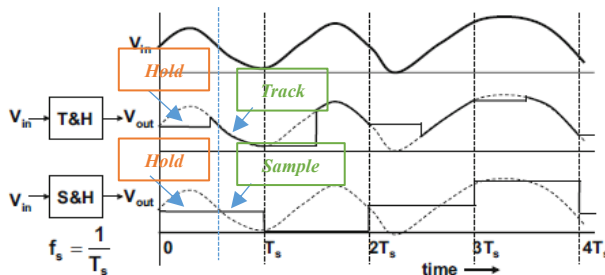
*Analog to Digital Converter* merupakan rangkaian elektronik pengubah sinyal masukan analog menjadi digital agar dapat melakukan komunikasi digital dan proses yang lebih kompleks. Untuk mengubah sinyal analog, terlebih dahulu sinyal tersebut diolah melalui proses *sampling*, kuantisasi, dan menghubungkan ke referensi (lihat Gambar 2.4) [24]. Untuk besar nilai dari sinyal digital sendiri hanya 1 atau 0.

### 2.5.1. Sampling

*Sampling* merupakan proses yang bertujuan untuk merepresentasikan sinyal analog dengan *sample* yang berurutan. Rangkaian *track-and-hold* dan *sample-and-hold* digunakan untuk melakukan pe-*sampling*-an sinyal analog dalam sebuah *analog-to-digital converter* [24]. Untuk keluaran dari *track-and-hold* dan *sample-and-hold* dapat dilihat pada Gambar 2.6.



**Gambar 2.4.** Fungsi ADC: *Sampling*, Kuantisasi, dan Menghubungkan ke Referensi [24]



**Gambar 2.5.** Keluaran *Track-and-Hold* dan *Sample-and-Hold* [24]

### 2.5.2. Kuantisasi

Setelah dilakukan *sampling*, dilakukan proses kuantisasi yaitu dengan mendiskritisasi sinyal kontinu (analog). Representasi dari amplitudo sinyal diskrit menggunakan dasar mengkodekan binary. Sampel sinyal digital terdiri dari beberapa bit. Jumlah bit yang dibutuhkan untuk membentuk nilai digital yang merepresentasikan sampel analog yang disebut *word width* atau resolusi  $N$ . Sinyal *binary* dibatasi hingga  $2^N$  nilai digital yang memungkinkan dan mendefinisikan jumlah level dimana amplitudo sinyal kontinu dibulatkan. Keakuratan cara mengonversi bergantung pada kualitas tingkat kuantisasi yang dipengaruhi oleh resolusi. Beberapa orang beranggapan akurasi dan resolusi sama namun sebenarnya keduanya berbeda. Sebagai contoh jika tegangan 0 hingga 8 V di kuantisasi menjadi 8 bagian, dibutuhkan resolusi  $N = 3$  bit. Ketika nilai terendah digeser ke 0,04 V, nilai resolusi tetap namun nilai akurasi bergeser menjadi 0,04.

### 2.5.3. Rangkaian Referensi

Dalam mengonversikan ADC dan DAC, kuantitas referensi dibagi, diduplikat, atau dikalikan yang menyebabkan ketidakakurasian. Oleh karena itu, kuantitas referensi merupakan kunci untuk mengatur kualitas dan performa konversi ADC dan DAC. Kuantitas referensi yang baik memiliki kriteria sebagai berikut:

- Dapat dibuat ulang dalam sistem
- Tidak sensitif terhadap frekuensi rendah atau tinggi dalam sumber.
- Tahan terhadap bermacam – macam beban.
- Referensi seharusnya tidak menanggapi gangguan yang ada di sekitar rangkaian
- Stabil ketika temperatur diubah – ubah
- Referensi seharusnya sulit berubah terhadap waktu
- Penggunaan energi yang rendah.

## 2.5. Regulator Tegangan

Regulator tegangan memiliki fungsi sebagai penghasil tegangan keluaran DC tetap. Keluaran regulator tersebut tidak dipengaruhi perubahan masukan, arus beban keluaran, dan temperatur. Regulator tegangan umumnya dikategorikan menjadi dua yaitu *linear regulator* dan *switching regulator* [25]. *Linear regulator* memodulasi secara linear konduktansi dari rangkaian yang melewati *switch* terhubung antara masukan DC dan tegangan yang diatur untuk memastikan tegangan keluaran sesuai dengan rasio awal terhadap tegangan referensi. Dua jenis regulator yang termasuk *linear regulator* adalah *series regulator* dan *parallel regulator*. *Switching regulator* dapat mengakomodasi tegangan masukan dan keluaran baik *alternating-current* (AC) maupun *direct-current* (DC). Oleh karena itu, regulator ini dapat menunjang kerja fungsi AC-AC, AC-DC, DC-AC, dan DC-DC *converter*. Untuk konfigurasi *switching regulator*, terdapat tiga jenis yaitu *step-up*, *step-down*, dan *inverting*. Perbedaan karakteristik dari kedua regulator tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.3.

**Tabel 2.3.** Karakteristik *Linear Regulator* dan *Switching Regulator* [25]

<i>Linear Regulator</i>	<i>Switching Regulator</i>
Jangkauan tegangan keluaran terbatas ( $V_{OUT} < V_{IN}$ )	Jangkauan tegangan keluaran fleksibel ( $V_{OUT} \leq V_{IN}$ atau $V_{OUT} \geq V_{IN}$ )
Rangkaian sederhana	Rangkaian kompleks
Mengandung <i>noise</i> rendah	Mengandung <i>noise</i> tinggi
Respons cepat	Respons lambat
Efisiensi daya terbatas ( $\eta < V_{OUT}/V_{IN}$ )	Efisiensi daya tinggi ( $\eta = 80 - 90\%$ )
Lebih baik digunakan pada penggunaan daya rendah	Lebih baik digunakan pada penggunaan daya tinggi

## 2.6. Sistem Kontrol PID (*Propotional-Integral-Derivative*)

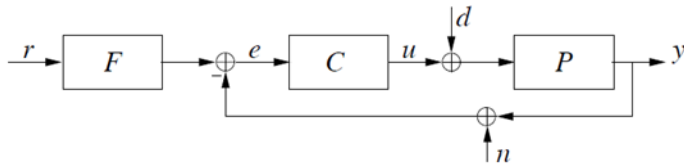
Sistem kontrol PID merupakan sistem kontrol yang digunakan secara luas dalam industri karena desainnya yang sederhana dengan kemampuan yang optimal. Kontrol PID merupakan proses penghitungan aksi kontrol atau perbedaan antara *set point* dengan keluaran sistem yang kemudian dimasukkan ke dalam masukan kontrol sistem [26]. Sistem kontrol PID dapat digunakan dalam sistem kontrol *closed loop*, sistem kontrol *opened loop* atau kontroler *on-off* [27]. Salah satu skema blok diagram sistem kontrol PID *closed loop* dapat dilihat pada Gambar 2.6. Kontrol PID merupakan gabungan dari kontrol *propotional*, *integral*, dan *derivative*. Penerapan sistem kontrol PID dapat digunakan pada kebanyakan sistem seperti sistem kontrol pada pemotong Styrofoam [28] dan pengontrol temperatur pada pengidentifikasi suara cracking pada pembakaran biji kopi [29]. Berikut adalah penjelasan sederhana dari masing – masing kontrol.

### 2.9.1. Kontrol *Propotional*

Kontrol *proportional* bersifat proporsional terhadap error kontrol dari keluaran sesuai dengan persamaan berikut

$$u(t) = K_p e(t) = K_p (r(t) - y(t)) \quad (2.7)$$

dengan  $K_p$  sebagai penguatan proporsional dan  $e(t)$  sebagai error kontrol. Dan kontrol ini memiliki fungsi transfer sebagai berikut



**Gambar 2.6.** Skema Blok Diagram Kontrol *Closed Loop* [25]

$$C(s) = K_p \quad (2.8)$$

Keuntungan kontrol *proportional* adalah memberikan variabel kontrol kecil ketika error kontrol bernilai kecil dan dapat menghindari upaya pengendalian yang berlebihan. Untuk kekurangannya, kontrol ini menghasilkan *steady state error*.

### 2.9.2. Kontrol Integral

Kontrol *integral* bersifat proporsional terhadap integral dari error kontrol sesuai dengan persamaan berikut

$$u(t) = K_i \int_0^t e(\tau) d\tau \quad (2.9)$$

dengan  $K_i$  sebagai penguatan integral. Untuk fungsi transfer dari kontrol integral memiliki persamaan sebagai berikut

$$C(s) = \frac{K_i}{s} \quad (2.10)$$

Jika kontrol *integral* dipadukan dengan kontrol *proportional*, *steady state error* akan bernilai nol. Namun, efek yang dari penggunaan kontrol integral yaitu timbul osilasi.

### 2.9.3. Kontrol Derivative

Kontrol *derivative* didasarkan pada prediksi dari nilai yang akan datang. Persamaan ideal dari kontrol *derivative* adalah sebagai berikut

$$u(t) = K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.11)$$

dengan  $K_d$  sebagai penguatan *derivative*. Sedangkan untuk fungsi transfer dari kontrol *derivative* yaitu sebagai berikut

$$C(s) = K_d s \quad (2.12)$$

Kontrol *derivative* memiliki potensi dalam memperbaiki performansi kontrol sebagaimana kontrol tersebut dapat mengantisipasi tren error kontrol yang tidak tepat dan menetralkannya.

Untuk sistem kontrol yang model matematikanya tidak diketahui, sistem kontrol PID yang sistem yang dapat diterapkan karena yang diperlukan hanya *men-tuning* sistem kontrol tersebut. Peraturan *tuning* kontrol PID dapat diklasifikasikan sebagai berikut ini [30]:

- Aturan *tuning* berdasarkan *step response* yang terukur. Sebagai contoh yaitu aturan Ziegler-Nichols
- Aturan *tuning* berdasarkan meminimalisir kriteria performansi yang sesuai
- Aturan *tuning* yang memberikan respons *closed loop* yang ditentukan
- Aturan *robust tuning*, dengan stabilitas *robust* yang jelas dan kriteria performansi *robust* yang dibuat dalam proses desain
- Aturan *tuning* berdasarkan perekaman parameter yang sesuai pada *ultimate frequency*

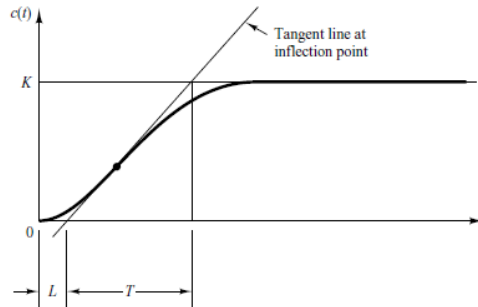
#### 2.9.4. Aturan Tuning Ziegler-Nichols

Aturan *tuning* ini digunakan ketika *plant* sangat kompleks sehingga tidak memungkinkan digunakan perhitungan matematika [31]. Ziegler dan Nichols menyarankan sebuah aturan untuk *men-tuning* kontroler PID berdasarkan percobaan *step response*. Aturan Ziegler-Nichols akan menentukan penguatan proporsional ( $K_p$ ), waktu integral ( $T_i$ ), dan waktu *derivative* ( $T_d$ ). Pada aturan ini, terdapat dua jenis metode.

Metode pertama yaitu mencari respons *plant* terhadap masukan *unit step* dan bisa disebut sebagai metode *open loop*. Metode ini dapat diterapkan jika respons terhadap masukan *step* menunjukkan kurva berbentuk S. Kurva S dapat dikarakteristikan menjadi dua konstanta yaitu waktu *delay* L dan waktu konstan T. Dua konstanta ini didapatkan dengan menggambar garis *tangent* pada titik infleksi kurva S dan menentukan perpotongan garis *tangent* dengan sumbu waktu serta garis  $c(t) = K$ , seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7. Setelah didapatkan 2 konstanta, nilai dari  $K_p$ ,  $T_i$ , dan  $T_d$  dapat ditentukan dengan persamaan pada Tabel 2.4.

Pada awal dari metode kedua atau metode *closed loop*, nilai  $T_i = \infty$ ,  $T_d = 0$ , dan meningkatkan nilai  $K_p$  dari 0 hingga nilai kritis

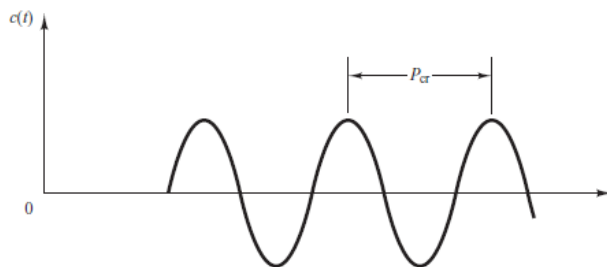
$K_{cr}$  ketika keluaran pertama kali menghasilkan osilasi. Dari osilasi tersebut didapatkan nilai penguatan kritis  $K_{cr}$  dan waktu *corresponding*  $P_{cr}$  seperti yang ditunjukkan Gambar 2.8. nilai  $K_p$ ,  $T_i$ , dan  $T_d$  dapat ditentukan dengan persamaan pada Tabel 2.5.



**Gambar 2.7.** Kurva Respons Berbentuk S [31]

**Tabel 2.4.** Aturan Ziegler-Nichols *Tuning* terhadap Respons Plan [31]

Tipe Kontroler	$K_p$	$T_i$	$T_d$
<b>P</b>	$\frac{T}{L}$	$\infty$	0
<b>PI</b>	$0,9 \cdot \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0,3}$	0
<b>PID</b>	$1,2 \cdot \frac{T}{L}$	$2 \cdot L$	$0,5 \cdot L$



**Gambar 2.8.** Osilasi yang didapat dengan periode  $P_{cr}$  [31]

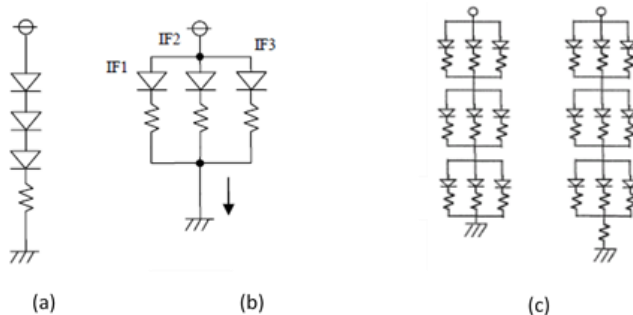


**Tabel 2.5.** Aturan Ziegler-Nichols *Tunning* terhadap Penguatan dan Periode Kritis [31]

Typo Kontroler	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	$0,5 \cdot K_{cr}$	$\infty$	0
PI	$0,45 \cdot K_{cr}$	$\frac{1}{1,2} \cdot P_{cr}$	0
PID	$0,6 \cdot K_{cr}$	$0,5 \cdot P_{cr}$	$0,125 \cdot P_{cr}$

## 2.7. LED Bank

LED (*Light-Emitting Diode*) *bank* merupakan rangkaian listrik yang terdiri dari banyak LED. LED sendiri adalah komponen semikonduktor yang dapat memancarkan cahaya ketika arus listrik dilewatkan pada komponen tersebut [32]. LED dapat dirangkai seri maupun paralel. Namun pada umumnya untuk rangkaian dengan banyak LED menggunakan rangkaian kombinasi antara seri dan paralel. Jenis – jenis rangkaian tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.9. LED memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan sumber cahaya dari beberapa jenis lampu seperti dapat dipakai dalam jangka waktu yang lama, ukuran yang kecil, dan respons yang cepat [33]. Salah satu jenis LED yang digunakan yaitu LED inframerah. Beberapa contoh pengaplikasian dari LED inframerah terdapat pada teknologi *multi-touching* [34], pendeteksian karies gigi [35], atau pengeringan anggur [8].

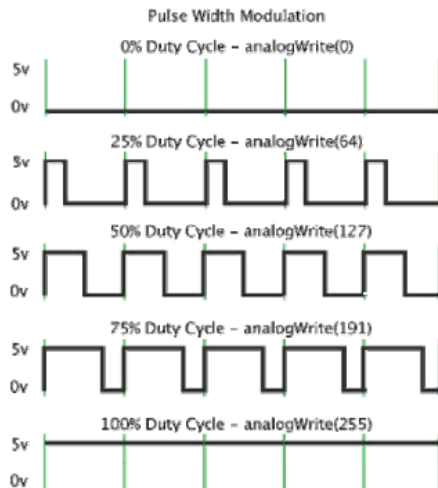


**Gambar 2.9.** (a) Rangkaian Seri, (b) Rangkaian Paralel, dan (c) Rangkaian Kombinasi

## 2.8. PWM (*Pulse Wide Modulation*) dan PWM Driver

PWM merupakan metode yang digunakan untuk membangkitkan sinyal analog dengan menggunakan sumber digital. Sinyal PWM terdiri dari dua komponen utama yaitu *duty cycle* dan frekuensi. *Duty cycle* menjelaskan jumlah waktu saat sinyal “HIGH” sebagai persentase jumlah waktu sinyal tersebut menyelesaikan satu *cycle*. Sedangkan frekuensi menentukan seberapa cepat PWM menyelesaikan satu *cycle*. Pada Gambar 2.10 dapat dilihat sinyal PWM ketika *duty cycle* diubah – ubah. Sinyal ini digunakan sebagai pengontrol rangkaian seperti motor servo atau intensitas LED.

PWM driver memiliki fungsi untuk menginisialisasi dan mengontrol perangkat keras PWM dari mikrokontroler [36]. Dengan PWM driver, sinyal PWM yang terbangkit nilai *duty cycle* dan periode sinyal dapat diubah. Untuk mikrokontroler seperti Arduino Uno, mikrokontroler tersebut telah memiliki pin *output* dengan keluaran PWM. Salah satu penggunaan PWM driver yaitu sebagai pengatur intensitas cahaya LED [37].



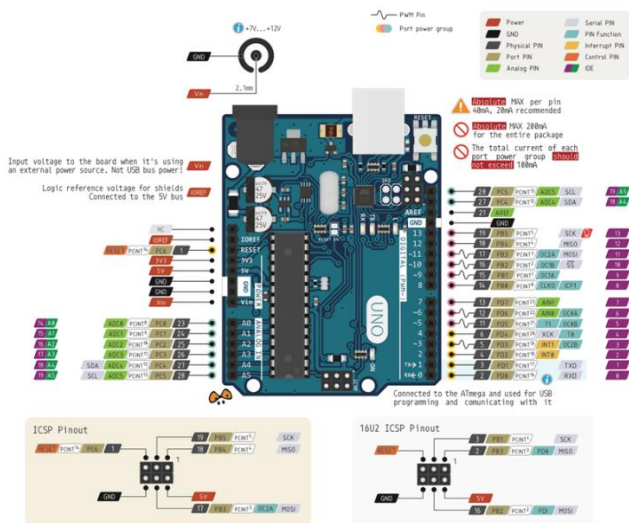
**Gambar 2.10.** PWM dengan *Duty Cycle* Berbeda [32]

## 2.9. Arduino Uno

Tabel 2.6. Spesifikasi Arduino Uno

<b>Mikrokontroler</b>	ATmega328
<b>Tegangan operasi</b>	5V
<b>Tegangan <i>input</i> (rekomendasi)</b>	7 – 12V
<b>Tegangan <i>input</i> (limit)</b>	6 – 20V
<b>Pin I/O digital</b>	14 (6 diantaranya menyediakan keluaran PWM)
<b>Pin <i>input</i> digital</b>	6
<b>Arus DC per pin I/O</b>	40 mA
<b>Arus DC untuk pin 3.3V</b>	50 mA
<b><i>Flash memory</i></b>	32 KB, 0.5 KB digunakan oleh <i>bootloader</i>
<b>SRAM</b>	2 KB
<b>EEPROM</b>	1 KB
<b>Kecepatan <i>clock</i></b>	16 MHz

Arduino Uno merupakan salah satu mikrokontroler *single-board* berbasis ATmega328 yang bersifat yang dapat memudahkan pengguna untuk mengetahui dan mengembangkan cara kerja perangkat tersebut [38]. Perangkat tersebut memiliki 14 *input/output* digital yang mana pin 3, 5, 6, 9, 10, dan 11 dapat digunakan sebagai PWM *output*, enam *input* analog, pin *power* (VIN, 5V, 3V3, dan GND), resonator keramik 16 MHz, USB *connector*, *power jack*, ICSP *header*, dan *reset button*. Untuk *pinout diagram* dan spesifikasi dapat dilihat pada Gambar 2.10 dan Tabel 2.6. Sebagai contoh penggunaan Arduino Uno adalah sistem kontrol kekeruhan akuarium [39], pembacaan meteran air dimana ArduinoUno digunakan sebagai prosesor data dari node sensor [38], dan pembacaan frekuensi pada deteksi jalur pipa terpendam [40].



**Gambar 2.11.** Arduino Uno *Pinout* Diagram

### 2.9.1. Pin Power

Sumber tegangan yang diberikan ke Arduino Uno dapat berasal dari hubungan USB atau *external power supply* seperti AC-to-DC *adapter* atau baterai. Besar tegangan eksternal yang digunakan untuk pengoperasian yaitu antara 6-20 V. Ketika tegangan eksternal yang diberikan di bawah 7 V, pin 5 V menghasilkan tegangan di bawah 5 V karena Arduino Uno tidak stabil. Sedangkan ketika diberi tegangan eksternal lebih dari 12 V, *voltage regulator* milik Arduino akan terlalu panas dan Arduino berkemungkinan bekerja tidak stabil. Sehingga direkomendasikan tegangan eksternal yang untuk mengoperasikan Arduino Uno adalah 7-12 V. Berikut *power pin* yang terdapat di Arduino Uno:

- VIN merupakan pin tegangan masukan Arduino jika tegangan eksternal digunakan. Selain melalui pin ini, tegangan eksternal dapat diberikan melalui *power jack*.
- 5V merupakan *pin output* dari tegangan berasal dari pin VIN, DC *power jack*, atau USB yang dikonversi menjadi 5V oleh *voltage regulator*.
- 3V3 merupakan pin yang memiliki fungsi sama dengan pin 5V

namun keluaran tegangan yang dihasilkan yaitu 3,3 V.

- GND merupakan pin *ground*

### **2.9.2. Input dan Output**

Pada Arduino Uno terdapat pin digital yang digunakan sebagai masukan atau keluaran dengan jumlah pin 14 buah. Setiap pin digital tersebut bekerja pada tegangan 5V dan arus maksimum 40 mA. Penggunaan pin digital dapat diakses dengan fungsi `pinMode ()`, `digitalWrite ()`, dan `digitalRead ()`. Selain itu, beberapa pin tersebut memiliki fungsi khusus:

- Pin 0(RX) dan 1(TX) digunakan sebagai serial komunikasi dimana pin 0 digunakan untuk menerima data serial TTL sedangkan pin 1 digunakan untuk mengirimkan data serial TTL.
- Pin 2 dan 3 digunakan sebagai *external interrupt*. Pin ini dapat dikonfigurasi untuk *men-trigger interrupt* ketika nilai rendah, *rising edge* atau *falling edge*, atau ketika terdapat perubahan nilai.
- Pin 3, 5, 6, 10 dan 11 menyediakan 8-bit keluaran PWM dengan menggunakan fungsi `analogWrite ()`.
- Pin 10(SS), 11(MOSI), 12(MISO), dan 13(SCK) digunakan untuk komunikasi SPI.
- Pin 13 terhubung dengan LED yang tertanam pada Arduino Uno.

Arduino Uno juga memiliki 6 pin analog yang berfungsi sebagai masukan analog. Pin tersebut diberi label A0 hingga A5. Nilai tegangan keluaran dari pin analog bernilai mulai 0 - 5 V dan menyediakan resolusi 10 bit. Pin A4 dan A5 membantu komunikasi TWI dalam Arduino Uno dimana A4 sebagai SDA dan A5 sebagai SCL. Selain itu terdapat pin AREF yang berfungsi sebagai tegangan referensi untuk masukan analog dan pin RESET digunakan untuk menambah tombol reset.

### **2.9.3. Pin Komunikasi**

Arduino Uno menyediakan UART TTL (5V) komunikasi serial dengan menggunakan pin *digital* 0 dan pin 1 agar dapat berkomunikasi dengan sebuah komputer, Arduino lain, atau mikrokontroler lain. Pada papan Arduino Uno terdapat ATmega16U2 yang menghubungkan komunikasi serial melalui USB dan tampil sebagai *virtual COM port* pada Arduino *software* dalam komputer. Arduino *software* memiliki serial monitor yang memungkinkan data teks sederhana ke atau dari Arduino. LED TX dan RX akan menyala

ketika data dikirimkan ke komputer. Selain komunikasi serial, ATmega328 juga mampu melakukan komunikasi I2C dan SPI.

#### **2.9.4. Pemrograman**

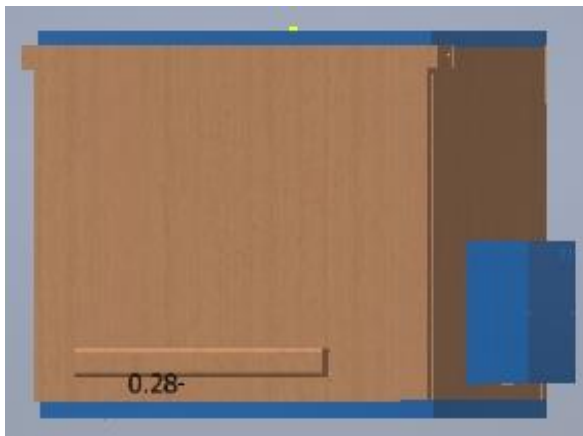
Arduino Uno dapat di program dengan *Arduino Software*. Sebelum meng-*upload* program ke Arduino Uno, terlebih dahulu pilih Arduino Uno pada menu **Tool > Board**. ATmega328 pada Arduino Uno telah dilengkapi dengan *bootloader* yang memungkinkan peng-*upload*-an program baru ke Arduino Uno tanpa menggunakan pemrograman *external hardware*.

### BAB III

## PERANCANGAN SISTEM

Rancangan sistem pengering ini terdiri dari dua sensor yaitu *load cell* dan LM35 yang dihubungkan dengan Arduino Uno. *Load cell* akan membaca berat dari objek yang dikeringkan yaitu anggur dan biji kakao. Sedangkan LM35 digunakan untuk membaca temperatur ruangan yang hasil pembacaan akan diakumulasi untuk mengkompensasi pembacaan *load cell*. Pembacaan berat objek terus berlangsung hingga didapatkan hasil pengeringan yang sesuai dengan keinginan. Penampakan luar desain *prototype* dapat dilihat pada Gambar 3.1 penampakan dalam dapat dilihat pada Gambar 3.12.

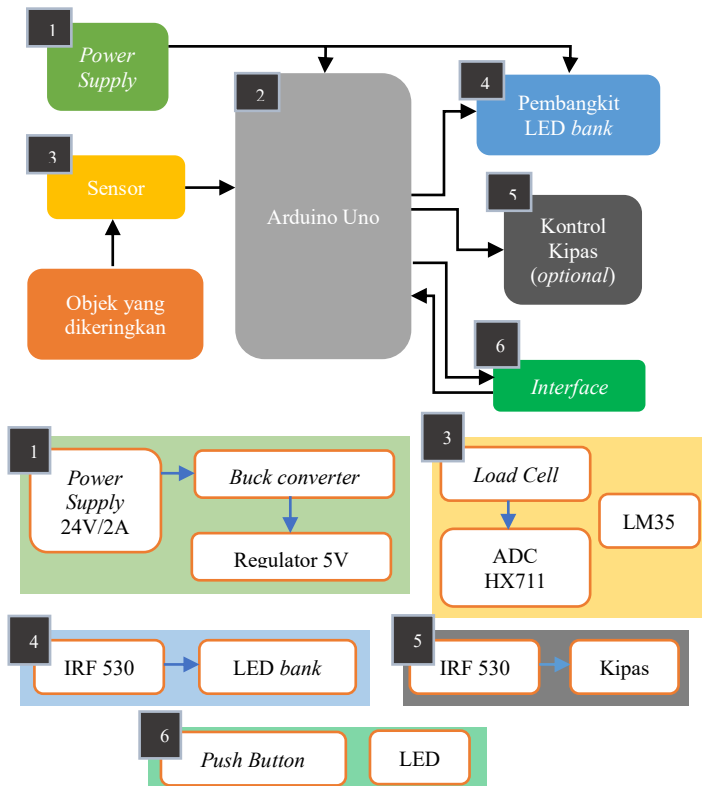
Keluaran *load cell* sebelum diterima Arduino Uno terlebih dahulu di konversi menjadi data digital dengan bantuan HX711. Saat data tersebut diterima, data kemudian diproses agar sesuai dengan nilai besaran berat. Data yang telah diubah kemudian dianalisis lebih lanjut dengan bantuan program sistem kontrol PID. Hasil perhitungan dari sistem kontrol PID digunakan untuk mengatur intensitas LED *bank*.



**Gambar 3.1.** Desain *Prototype* Penampakan Luar

### 3.1. Diagram Blok Sistem

Sistem pengering ini terdiri dari perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras yang digunakan dalam sistem yaitu Arduino Uno, *load cell*, LED bank, LM35, rangkaian *PWM driver*, *supply regulator*, dan kipas. Sedangkan perangkat lunak yang dapat menunjang sistem adalah desain *prototype*. Untuk perangkat lunak yang digunakan yaitu program hasil pembacaan ADC dan kalibrasi *load cell*, pengkompensasian *load cell* dengan LM35, pembangkit PWM serta sistem kontrol PID. Diagram blok dari sistem tersebut dapat di lihat pada Gambar 3.2.



**Gambar 3.2.** Diagram Blok Sistem



Bagian-bagian pada blok diagram di atas terdiri dari:

(1) *Power Supply*

Daya yang dibutuhkan sistem dihasilkan oleh suplai daya 24VDC/2A yang diturunkan nilai tegangan sesuai kebutuhan dengan *buck converter* dan regulator tegangan.

(2) Mikrokontroler

Mikrokontroler berperan sebagai perangkat keras yang mengolah data dari sensor dan memberikan reaksi kepada pembangkit LED *bank* dan kontrol kipas.

(3) Sensor

Sensor terdiri dari *load cell*, ADC HX711, dan LM35.

(4) Objek yang dikeringkan

Keluaran dari mikrokontroler mempengaruhi kinerja pembangkit LED *bank* dimana pembangkit ini terdiri dari IRF 530 dan LED *bank*.

(5) Kontrol Kipas

Keluaran dari mikrokontroler juga mempengaruhi kontrol kipas.

(6) *Interface*

*Interface* akan memberikan masukan perintah ke mikrokontroler menggunakan *push button*. Selain itu, *interface* juga menerima keluaran yang ditunjukkan melalui LED.

### 3.2. Perancangan Perangkat Keras

Perangkat keras yang digunakan pada penelitian ini adalah LED *bank*, PWM *driver*, *load cell* dan LM35 sebagai sensor, modul HX711 sebagai ADC yang mengonversi nilai dari *load cell*, kipas, desain alat, dan Arduino Uno

#### 3.2.1. LED *Bank*

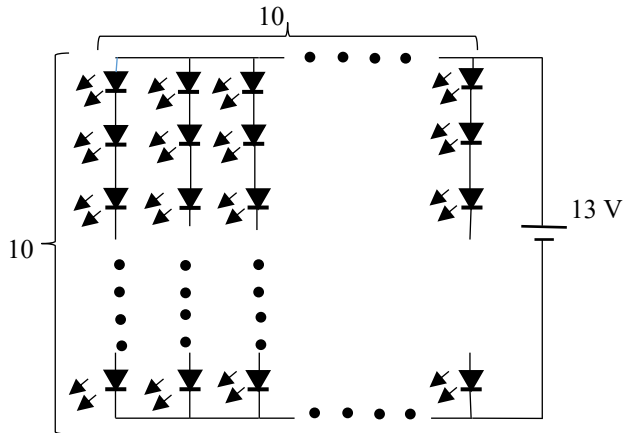
Sumber inframerah yang digunakan menggunakan LED inframerah yang disusun secara matriks atau dibuat *array*. Pada rancangan pemancar inframerah ini akan disusun LED inframerah secara matriks yaitu 10 X 10 di setiap papan rangkaian LED *Bank* dengan jarak masing – masing LED 5 mm. Rangkaian LED inframerah akan dirangkai secara seri dan paralel. Rancangan dari pemancar inframerah dapat dilihat pada Gambar 3.3. LED inframerah yang digunakan disarankan memiliki kriteria yaitu panjang gelombang radiasi 2,7 – 3,3 um. Karena pada panjang gelombang radiasi ini, ikatan O-H pada air menyerap energi

inframerah dan mulai bergetar dengan frekuensi yang sama dengan frekuensi radiasi [17]. Setelah LED *bank* di rangkai, rangkaian tersebut kemudian diuji seberapa besar temperatur yang dihasilkan. Jika hasil yang diinginkan dapat dicapai maka rangkaian tersebut berhasil. Namun jika hasil yang diinginkan belum tercapai maka akan dibuat ulang rangkaian LED *bank*.

### 3.2.2. IR333C

IR333C merupakan LED inframerah dengan diameter 5 mm yang diproduksi oleh “Everlight”. LED ini memiliki beberapa ciri - ciri yaitu memiliki Panjang gelombang cahaya 940 nm, *forward voltage* rendah, dan bebas Pb. *Continuous forward current* ( $I_f$ ) bernilai 20 mA hingga 100 mA dan pada kondisi masing – masing arus memiliki *forward voltage* 1,2 V dan 1,4 V . Sedangkan *reverse voltage* ( $V_R$ ) bernilai 5 V. LED ini bekerja pada temperatur – 40°C hingga 85°C. Sinar inframerah yang dihasilkan LED ini memiliki sudut pancar sebesar 40°. Beberapa karakteristik LED ini dapat dilihat pada Gambar 3.4. Untuk perhitungan matematis rancangan dapat dilihat sebagai berikut:

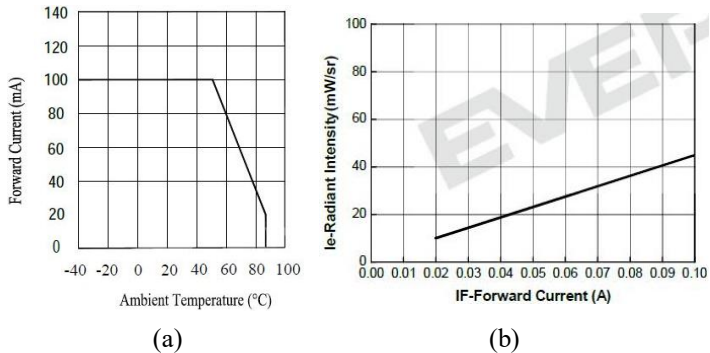
$$\begin{aligned} V_{fTotalmax} &= V_{fMax} \times \text{baris} \\ &= 1,8 \text{ V} \times 10 = 18 \text{ V} \\ I_{fTotalmax} &= I_{fMax} \times \text{baris} \\ &= 100 \text{ mA} \times 20 = 2 \end{aligned}$$



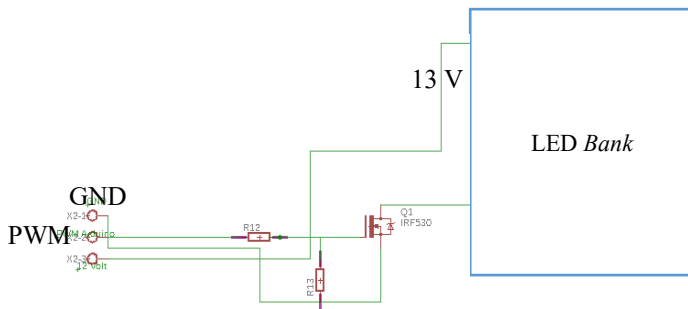
**Gambar 3.3.** Rangkaian LED *Bank*

### 3.2.3. PWM Driver

Perancangan PWM *driver* menggunakan rangkaian yang sederhana. Sumber PWM sendiri diambil dari Arduino Uno. PWM tersebut kemudian digunakan sebagai masukan MOSFET tipe IRF530 yang berfungsi sebagai *switch on/off*. Ketika IRF 530 diberi tegangan 5 V dari PWM, IRF 530 aktif yang berarti *switch* berada pada keadaan *on* dan berlaku sebaliknya. Rangkaian PWM *driver* dengan IRF 530 dapat dilihat pada Gambar 3.5. PWM *driver* ini memiliki fungsi sebagai pengatur intensitas pancaran hasil LED *bank* dimana IRF 530 mengatur arus yang melewati LED *bank*.



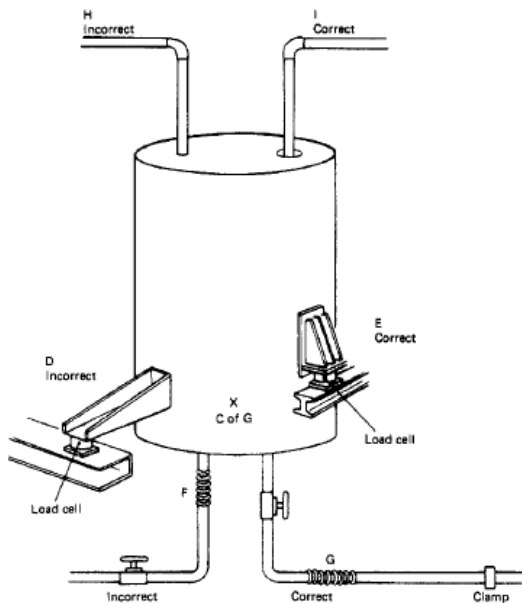
**Gambar 3.4.** Karakteristik LED: (a) Suhu Lingkungan terhadap *Forward Current*, (b) *Forward Current* terhadap *Radiant Intensity*



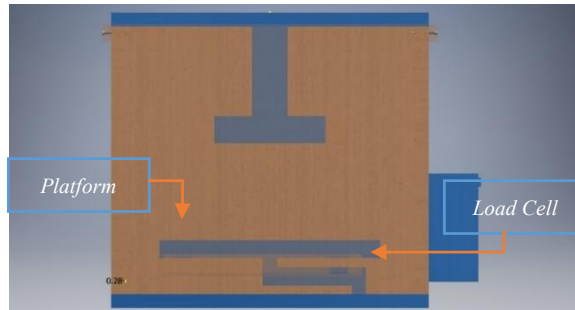
**Gambar 3.5.** Rangkaian IRF 530 dengan LED *Bank*

### 3.2.4. Load Cell

*Load cell* yang digunakan pada penelitian ini berjenis *shear beam*. Dalam pemilihan posisi *load cell*, perlu diperhatikan posisi pemasangan *platform* dan bagian penopangnya [22]. Pemasangan *load cell* yang benar dapat dilihat pada Gambar 3.6. Pada penelitian ini, *load cell* dipasang pada kondisi permukaan yang rata dan berada di posisi tengah bagian dasar *prototype* seperti pada Gambar 3.7. Setelah dilakukan pemasangan *platform* pada *load cell*, perlu dilakukan kalibrasi dengan mengambil data hasil pembacaan *load cell* terhadap lima objek atau lebih yang beratnya diketahui.



**Gambar 3.6.** Contoh Beberapa Pemasangan *Load Cell* [22]



**Gambar 3.7.** Pemasangan *Load Cell*

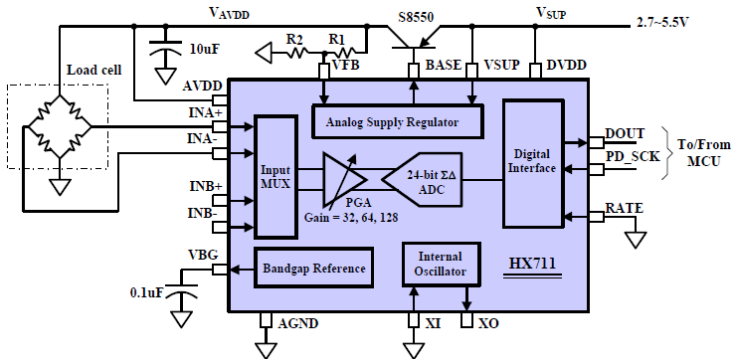
### 3.2.5. Modul HX711

Modul HX711 digunakan sebagai *Analog-to-Digital Converter* (ADC) yang mengonversi sinyal dari *load cell* agar dapat terbaca oleh Arduino Uno. Diagram blok dari modul HX711 dapat dilihat pada Gambar 3.8. Pada HX711 terdapat *channel A* dan *channel B* sebagai *analog input* dengan bentuk *differential input*. Kedua *channel* tersebut memiliki perbedaan dalam hal penguatan. *Channel A* memiliki penguatan 128 kali atau 64 kali. Sedangkan *channel B* memiliki hanya satu penguatan yaitu 32 kali. Pin *power* Arduino Uno dijadikan sebagai sumber tegangan *digital power supply* (DVDD) pada HX711. Komunikasi antar HX711 dengan Arduino Uno dilakukan melalui *serial interface* melalui pin PD\_SCK dan DOUT. Kedua pin tersebut digunakan untuk pengambilan data, pemilihan masukan, pemilihan penguatan, dan pengontrol *power down*. Ketika keluaran data belum siap diambil, pin DOUT bernilai *high*. Jika DOUT bernilai *low*, hal tersebut mengindikasikan bahwa data keluaran siap diambil. Cara menghubungkan HX711 dengan Arduino Uno dapat dilihat pada Gambar 3.9.

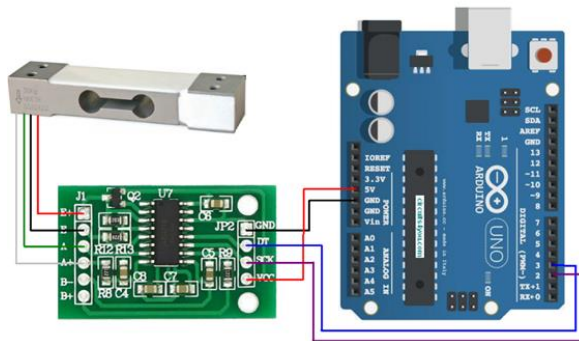
### 3.2.6. LM35D

Dalam penelitian ini, LM35D merupakan sensor temperatur digunakan sebagai pengkompensasi temperatur ruang pengeringan terhadap *load cell*. Hal ini dilakukan karena semakin tinggi temperatur ruangan, pembacaan *load cell* akan semakin jauh dari berat yang seharusnya. Untuk spesifikasi dari LM35D dapat dilihat pada Tabel 3.1. Pemasangan LM35D terhadap Arduino Uno dapat dilihat pada Gambar 3.10. Pin VS, GND, dan V<sub>OUT</sub> pada LM35D

dihubungkan dengan pin 5V, GND, dan A0 pada Arduino Uno. LM35D memiliki perubahan linear  $+10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$  dan memiliki dimensi  $4,3\text{ mm} \times 4,3\text{ mm}$ .



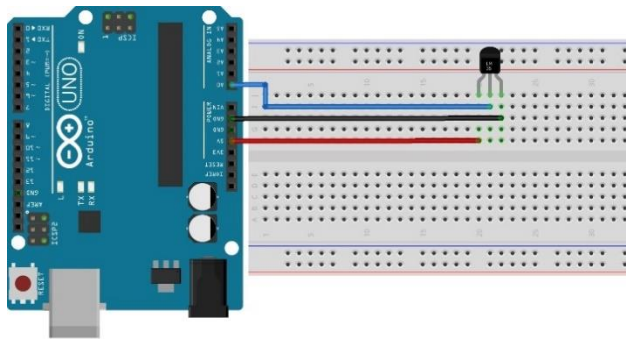
Gambar 3.8. Diagram Blok Aplikasi HX711



Gambar 3.9. Rangkaian Load Cell, HX711, dan Arduino

Tabel 3.1. Spesifikasi Sensor Temperatur LM35D

	Min	Max	Unit
Tegangan Supply	-0,2	35	V
Tegangan Keluaran	-1	6	V
Arus Keluaran		10	mA
Temperatur Operasi	0	100	$^{\circ}\text{C}$
Akurasi	$\pm 0,9$		$^{\circ}\text{C}$
Penguatan Sensor	10		$\text{mV}/^{\circ}\text{C}$



**Gambar 3.10.** Rangkaian LM35D terhadap Arduino Uno

### 3.2.7. Kipas

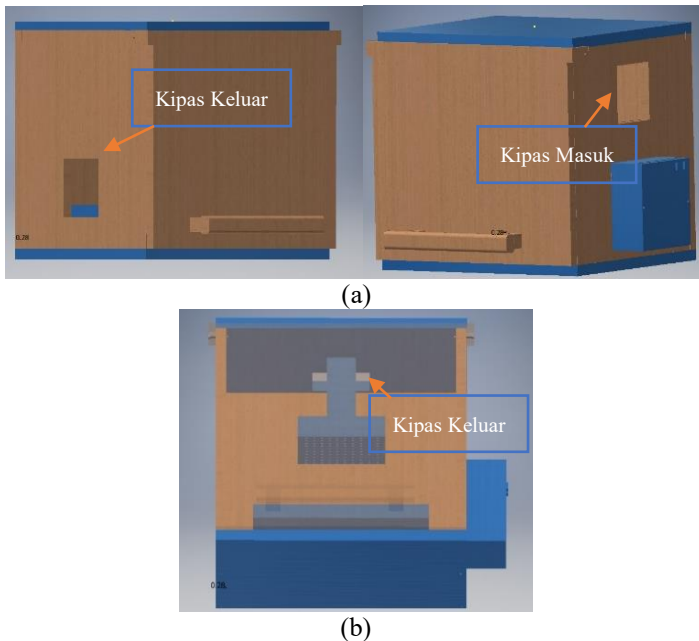
Komponen elektronik ini merupakan komponen tambahan. Kipas memiliki fungsi sebagai alat sirkulasi udara lembap yang ada di dalam ruang pengering. Kipas yang digunakan adalah kipas DC merek “Deep Cool” tipe XFAN 80. Kipas ini dapat digunakan untuk mendinginkan komputer dan *power supply*. Untuk spesifikasi kipas ini dapat dilihat pada Tabel 3.2. Pada penelitian ini, kipas dipasang di sisi atas seperti pada Gambar 3.11. Kipas di sisi kanan digunakan untuk mendorong angin masuk ke ruang pengering dan kipas di sisi kiri sebagai pembuangan angin.

**Tabel 3.2.** Spesifikasi Kipas “Deep Cool” XFAN 80

<b>Dimensi Keseluruhan</b>	80 x 80 x 25mm
<b>Berat Bersih</b>	82 gram
<b>Tipe Bearing</b>	<i>Hydro Bearing</i>
<b>Rated Voltage</b>	12 VDC
<b>Tegangan Operasi</b>	10,8 – 13.2 VDC
<b>Tegangan Permulaan</b>	7 VDC
<b>Rated Current</b>	0,08 +/- 10% A
<b>Masukan Daya</b>	0,96 Watt
<b>Kecepatan Kipas</b>	1800 +/-10% RPM
<b>Aliran Angin Maksimal</b>	21,8CFM
<b>Kebisingan</b>	20,3dB

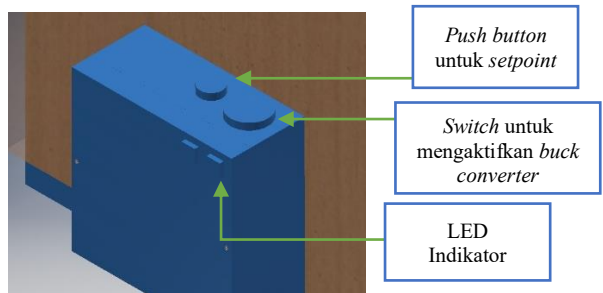
### 3.2.8. Desain *Prototype*

Desain *prototype* dari pengering makanan ini memiliki bentuk yang cukup sederhana. Kerangka desain utama berbentuk kotak. Di belakang kerangka utama terdapat tempat Arduino Uno, HX711, dan *voltage regulator*. Pada bagian atas kerangka ini, LED indikator, *switch* dan *push button* digunakan sebagai *interface* alat dapat dilihat pada Gambar 3.12. Di bagian sisi atas *prototype* terdapat kipas yang membantu mengurangi kelembapan dan pemasangan kipas ini bersifat pilihan jika diperlukan. Di bagian dalam kerangka utama, *load cell* diletakkan di dasar dengan posisi ujung *load cell* terletak di tengah kerangka utama. Sedangkan LED *bank* diletakkan di atas *load cell*. Pada penelitian ini akan dibuat *prototype* dengan kipas yang memiliki penempatan yang berbeda dapat dilihat pada Gambar 3.11.



**Gambar 3.11.** Penempatan Dalam dari *Prototype*: (a) Kipas untuk Udara Masuk dan Keluar, (b) Kipas untuk Udara Keluar





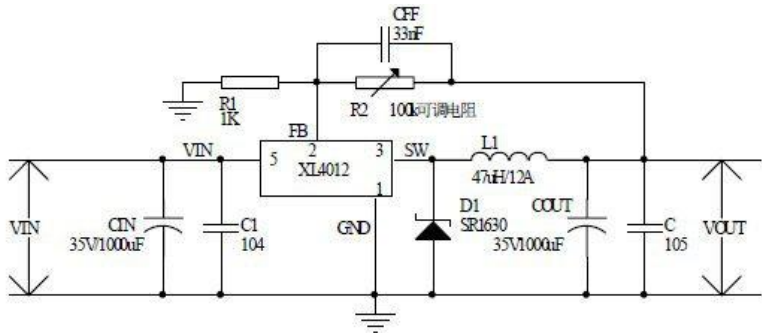
**Gambar 3.12.** Penampakan *Interface* Indikator

### 3.2.9. *Buck Converter*

*Buck converter* digunakan sebagai penurun tegangan dari *power supply*. Keluaran dari *buck converter* kemudian disambungkan dengan masukan ke *LED bank*. Besar tegangan keluaran dari *buck converter* yang digunakan adalah 13-volt dengan cara memutar resistor *multiturn*. Untuk tipe IC (*Intergrated Circuit*) yang digunakan adalah XL4005E1. Spesifikasi dari modul *buck converter* dapat dilihat pada Tabel 3.2. Rangkaian *buck converter* yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.13.

**Tabel 3.3.** Spesifikasi Modul *Buck Converter*

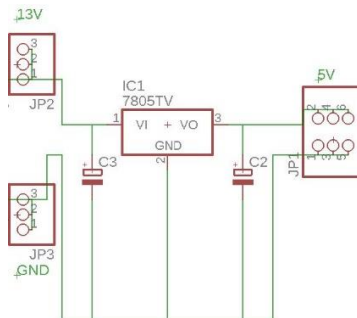
<b><i>Rectification</i></b>	<i>Non-synchronous Rectifier</i>
<b>Tegangan Masukan</b>	4-38 VDC
<b>Tegangan Keluaran</b>	1,25 – 32 VDC
<b>Arus Keluaran</b>	0-5 A
<b>Daya Keluaran</b>	75-Watt (lebih dari 50-Watt tambahkan <i>heatsink</i> )
<b>Frekuensi Operasi</b>	180 KHz
<b>Temperatur Operasi</b>	-40°C - +85°C



**Gambar 3.13.** Rangkaian XL4005 *Typical Application Circuit*

### 3.2.10. Regulator Tegangan

Keluaran dari *buck converter* dijadikan sebagai masukan regulator tegangan. Besar nilai regulator tegangan yang dihasilkan yaitu 5 Volt dan 12 Volt. Tegangan yang dihasilkan regulator akan digunakan untuk menjalankan kipas. IC regulator yang digunakan yaitu LM7805 dan LM 7812 dengan tegangan masukan maksimal adalah 35 Volt. Skematis Rangkaian regulator tegangan 5 Volt dapat dilihat pada Gambar 3.14.



**Gambar 3.14.** Skematis Rangkaian Regulator Tegangan

### 3.2.11. Arduino Uno

Arduino Uno digunakan sebagai pengolah data dari *load cell* dan LM35D, penghasil sinyal PWM dan tempat terjadinya proses kontrol.

Data-data dari *load cell* yang diterima diubah dari data mentah menjadi data dalam bentuk gram. Hal tersebut juga berlaku terhadap LM35D namun memiliki fungsi sebagai pengkompensasi *load cell* terhadap perubahan temperatur. Mikrokontroler ini dapat diberi tegangan 5 V hingga 12 V. Pin yang digunakan sebagai masukan data ini adalah pin digital 3 dan untuk mengirimkan sinyal ke HX711 dengan menggunakan pin digital 2. Sedangkan pin yang menghasilkan sinyal PWM keluar dari pin digital 5. Pin 5V digunakan sebagai sumber listrik bagi *load cell*. Selain itu, pin GND dihubungkan ke *load cell ground* dan *LED bank*. Pada Gambar 3.15, dapat ditunjukkan skematis rangkaian Arduino Uno.



### 3.3. Perancangan Perangkat Lunak

Semua perancangan perangkat lunak akan dieksekusi oleh Arduino Uno yang berperan sebagai mikrokontroler. Perangkat lunak tersebut terdiri dari program untuk membangkitkan sinyal PWM, mengkalibrasi *load cell*, dan menjalankan sistem pengering yang di-*upload* dengan menggunakan Arduino IDE.

#### 3.3.1. Pembangkit Sinyal PWM

Sinyal PWM ini digunakan sebagai masukan MOSFET IRF530 yang bertindak sebagai *digital switch* dimana ketika sinyal PWM bernilai “HIGH” maka *switch* aktif dan sebaliknya. Besar nilai sinyal PWM yang dihasilkan yaitu “HIGH” ketika bernilai 5 Volt dan “LOW” ketika bernilai 0 Volt. Keadaan *switch* aktif dan tidak aktif secara bergantian menimbulkan sebuah representasi tegangan analog dari nilai tegangan yang terhubung dengan kaki *drain* IRF530 sehingga mempengaruhi arus yang mengalir ke LED *bank*. Dalam membangkitkan sinyal PWM dari Arduino Uno, dapat digunakan fungsi “*analogWrite*” yaitu sebagai berikut:

```
analogWrite(PWM);
```

PWM merupakan variabel nilai dari *analogWrite* dengan nilai mulai dari 0 hingga 255. Nilai 0 mewakili nilai *duty cycle* dengan nilai 0% dan nilai 255 mewakili nilai *duty cycle* dengan nilai 100%. Semakin besar nilai “PWM” semakin besar intensitas cahaya inframerah yang dihasilkan LED *bank*.

#### 3.3.2. Pembacaan Load Cell

Sebelum digunakan dalam sistem, *load cell* di-*setting* terlebih dahulu. Pembacaan keluaran dari *load cell* dikonversi dengan ADC HX711 melalui pin *channel A* dengan penguatan 128. Keluaran yang dihasilkan HX711 yaitu 24-bit dalam bentuk *second complement* dengan nilai *range* dari -8388608 (800000h) hingga 8388607 (7FFFFFFh). Untuk mendapatkan data tersebut perlu dilakukan komunikasi serial dengan mengirimkan sinyal pulsa ke HX711 seperti berikut:

```
digitalWrite (SCK, LOW);  
while (digitalRead(DOUT));  
for (int x = 0; x < 24; x++){  
    digitalWrite(SCK, HIGH);  
    delayMicroseconds(25);  
    digitalWrite(SCK, LOW);
```

```

if (digitalRead(DOUT)){
    loadcell_buffer += loadcell_mask;
}

loadcell_mask = loadcell_mask >> 1;
delayMicroseconds(25);
}

for (int x = 0; x < 1; x++){
    digitalWrite(SCK, HIGH);
    delayMicroseconds(25);
    digitalWrite(SCK, LOW);
    delayMicroseconds(25);
}

```

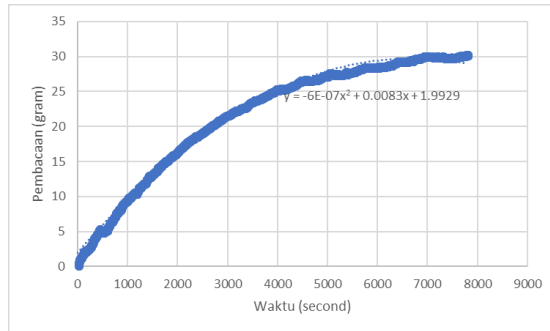
### 3.3.3. Pengkompensasian *Load Cell* terhadap Temperatur

Ketika *load cell* diterapkan pada sistem pengering ini, *load cell* tersebut terpapar dengan temperatur ruang sehingga pengukuran yang terjadi terus berubah. Hal tersebut dapat dilihat dari diagram pengambilan data ketika *platform* tidak diberi beban pada Gambar 3.16. Untuk mengkompensasi temperatur yang ada di ruang pengering tersebut digunakan keluaran LM35D yang terbaca dan diproses dengan pembacaan *load cell*. Program kompensasi dapat dilihat sebagai berikut:

```

if (z < 2){
    temp_storage = cel;
    z++;
}
else {
    x = cel - temp_storage;
    weight1 = 0.0089 * raw_read - (0.0021*x*x*x -
    0.0918*x*x - 0.2389*x);
}

```



**Gambar 3.16.** Pembacaan *Load Cell* dengan Beban 0 gram ketika Pemanas Diaktifkan

### 3.3.4. Sistem Kontrol *Proportional*

Hasil pembacaan *load cell* yang telah di kompensasi kemudian dilakukan perhitungan nilai dari perubahan berat objek antar sesudah dan sebelum dikeringkan. Untuk anggur, sebelum dikeringkan memiliki kandungan air 70% - 80% dan dikeringkan hingga memiliki kandungan air 15% - 20%. Sedangkan biji coklat saat sebelum dikeringkan memiliki kandungan air 50% dan dikeringkan hingga kandungan air mencapai 7% [18]. Pada sistem kontrol ini nilai *set point* merupakan nilai persentase kandungan air pada objek yang dipanaskan dan dapat ditentukan dengan persamaan (2.1) dengan masing – masing objek memiliki perhitungan matematik seperti berikut:

Anggur:

$$70\% - 20\% = \frac{\text{Berat awal objek} - \text{Berat akhir objek}}{\text{Berat awal objek}} \times 100\%$$

$$\text{Berat awal objek} - \text{Berat akhir objek} = \frac{\text{Berat awal objek}}{2}$$

Biji coklat:

$$50\% - 7\% = \frac{\text{Berat awal objek} - \text{Berat objek akhir}}{\text{Berat awal objek}} \times 100\%$$

$$\text{Berat awal objek} - \text{Berat akhir objek} = \frac{43 \times \text{Berat awal objek}}{100}$$

Sistem kontrol PID merupakan gabungan dari persamaan (2.7), (2.9), dan (2.11). Persamaan PID ini dapat direpresentasikan dalam program seperti berikut:

```
error = setpoint – persen;  
erSum += error * timeChange / 1000;  
erDer += (error – lastEr) * 1000 / timeChange;  
output = kp * error + ki * erSum + kd * erDer;  
lastEr = error;
```

nilai dari persamaan integral diwakilkan dengan persamaan  $erSum$  dan nilai dari persamaan *derivative* diwakilkan dengan persamaan  $erDer$ . Di akhir perhitungan nilai sistem kontrol PID pada persamaan output, nilai dari error disimpan dalam variabel  $lastEr$  yang nantinya digunakan menghitung nilai  $erDer$  selanjutnya. Untuk menentukan nilai penguatan proporsional  $K_p$ , penguatan integral  $K_i$ , dan penguatan *derivative*  $K_d$  diterapkan metode pertama pengaturan Ziegler-Nichols yaitu memberikan masukan *step unit* ke dalam *plan*. Diagram sistem kontrol PID dari penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.16.

### 3.3.5. Perancangan Sistem Keseluruhan

Pengoperasian sistem pengering dilakukan dengan bantuan Arduino Uno sebagai pengolah semua data. Penggambaran cara kerja sistem keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 3.17 dan dapat dijelaskan sebagai berikut:

- a. Ketika pertama kali pengering diaktifkan, *load cell* di-*set up* hingga terbaca berat tanpa beban. Keluaran dari *load cell* berupa tegangan yang kemudian dikonversi menggunakan ADC HX711 agar dapat terbaca oleh Arduino Uno dengan komunikasi serial. Setelah dilakukan *set-up load cell*, pemilihan *set point* dilakukan dengan menekan *push button* sesuai dengan objek yang ingin dikeringkan dan dilanjutkan dengan meletakkan objek yang ingin dikeringkan.
- b. Objek yang telah diletakkan di *platform* dibaca serta dilakukan penyimpanan berat awal dan temperatur awal. Berat dan temperatur awal digunakan untuk mengukur perubahan berat dan temperatur seiring dengan perubahan waktu. Pada pembacaan selanjutnya, persamaan *average filter* digunakan untuk lebih menstabilkan nilai berat yang terbaca. Berikut program *average filter* yang diterapkan pada sistem ini:



```

static float FilterAverage_buffer[10];
float FilterAverage_sum = 0;
float FilterAverage_avg = 0;
for (int x = 0; x < 9; x++) {
    FilterAverage_buffer[x] = FilterAverage_buffer[x + 1];
}
FilterAverage_buffer[9] = raw_read;
for (int x = 0; x < 10; x++) {
    FilterAverage_sum += FilterAverage_buffer[x];
}
FilterAverage_sum = FilterAverage_sum / 10;
return FilterAverage_avg;

```

Pada program di atas, dilakukan pembacaan sebanyak sepuluh kali yang kemudian dihitung rata – rata dari penjumlahan tersebut.

- c. Berat yang terbaca kemudian dihitung perubahan terhadap berat awal per berat awal. Hasil dari perhitungan tersebut kemudian dibandingkan dengan *set point* yang telah ditentukan sebelumnya dan dihitung selisih di antara keduanya. Selisih yang didapatkan kemudian di masukan ke dalam perhitungan sistem kontrol PID. Berikut bentuk program dari penjelasan tersebut:

```

if (weight > 1 || (weight < 1 && initial_weight > 1)) {
    rnow = millis();
    timeChange = (float) ((rnow - last));
    if (timeChange >= Ts) {
        if (before > weight) {
            if ((firstCal >= 16 * Ts) && initial_weight <= 0) {
                initial_weight = before;
            }
            if (initial_weight > 0) {
                dec = initial_weight - weight;
                persen = dec / initial_weight;
                error = setpoint - persen;
                erSum += error * timeChange / 1000;
                erDer = (error - lastEr) * 1000 / timeChange;
                output = kp * error + ki * erSum + kd * erDer;
                PWM = 255 * output;
                lastEr = error;
            }
        }
    }
}

```

```

    }
    before = weight;
    last = rnow;
  }
}

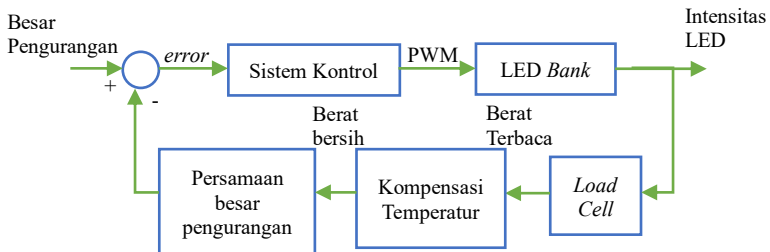
```

### 3.3.6. Perhitungan Kebutuhan Daya

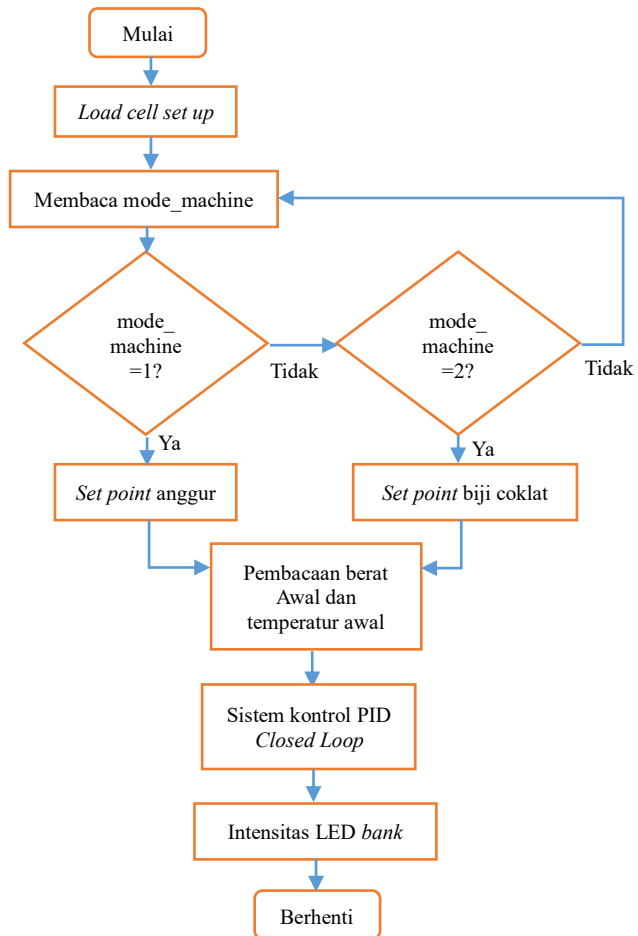
Pada sistem ini, daya yang paling banyak dibutuhkan oleh LED *bank*. LED *bank* dirancang sebanyak 2 papan dan masing – masing papan terdiri dari 10 baris dan 10 kolom LED IR. Masing – masing papan membutuhkan tegangan dan arus sebesar 13 V dan 1,3 A. Perhitungan tersebut dapat ditulis sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan daya LED bank} &= 13 \text{ V} \times 0,99 \text{ A} \\ &= 12,87 \text{ Watt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Minimum energi yang dibutuhkan} & \\ \text{dalam 1 jam} &= 12,87 \text{ Watt} \times 1 \text{ jam} \\ &= 12,87 \text{ Wh} \end{aligned}$$



**Gambar 3.17.** Diagram Sistem Kontrol PID



**Gambar 3.18.** Diagram Alir Sistem Keseluruhan

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

## **BAB IV**

### **PENGUJIAN DAN ANALISIS**

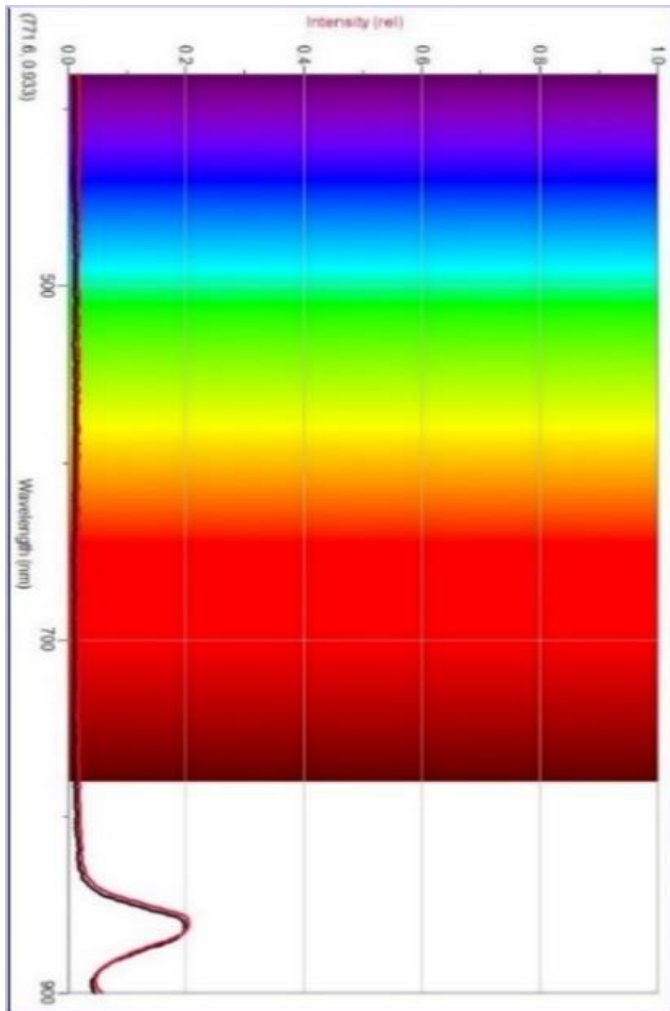
Bab ini membahas tentang perancangan sistem pengering yang kemudian diuji dan dibahas hasil dari pengujian sistem tersebut. Pengujian dilakukan per bagian komponen alat hingga sistem keseluruhan yang ditunjang dengan gambar dan tabel yang bersangkutan. Pengujian sistem ini dilakukan di Laboratorium Elektronika Dasar, B202, dan Laboratorium Elektronika Industri, B402, Departemen Teknik Elektro ITS.

#### **4.1. Pengujian LED Bank**

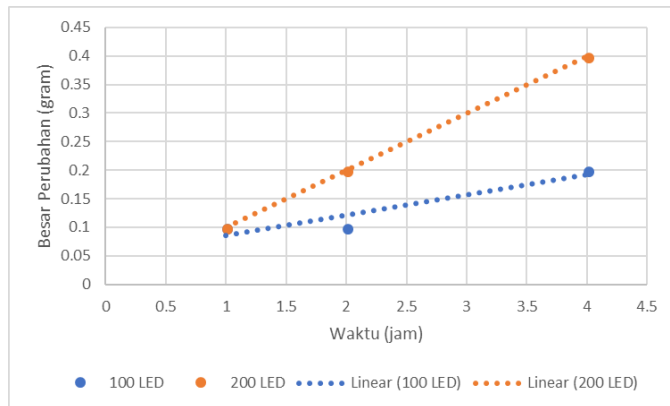
Sebelum digunakan dalam sistem pengering keseluruhan, LED *bank* diuji terlebih dahulu mulai dari pengujian panjang sinyal elektromagnetik dari LED IR333C hingga hasil pengeringan terhadap anggur dan biji coklat. Hasil pengujian panjang LED IR333C didapatkan cahaya inframerah yang dihasilkan LED memiliki panjang gelombang *near infrared* di antara 800 nm dan 900 nm. Hasil tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.1. Pengujian LED *Bank* ini dilakukan pengambilan data terhadap satu sampel dari beberapa buah LED IR. Penelitian ini menggunakan 100 dan 200 LED. Kemudian ditentukan hasil terbaik dari keduanya yang selanjutnya akan dijadikan sebagai sistem pengering ini.

Hasil pengujian LED *bank* terhadap anggur dengan menggunakan 100 dan 200 buah LED dapat dilihat pada Gambar 4.2. Dari gambar grafik tersebut, pengeringan dengan menggunakan 200 LED lebih cepat dibandingkan dengan 100 LED karena jumlah intensitas inframerah yang dihasilkan 200 LED lebih banyak dari pada 100 LED. Karena intensitas yang dihasilkan besar, maka energi yang dapat diserap objek pengeringan makin besar sehingga mempercepat proses pengeringan. Pengambilan data dilanjutkan dengan menggunakan 200 LED terhadap anggur dan biji coklat. Kecepatan pengeringan 4 hingga 7 gram anggur dan biji coklat dari hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.3 dan kenaikan temperatur dapat dilihat pada Gambar 4.4. Hasil pada grafik menunjukkan bahwa biji coklat lebih cepat dikeringkan dibandingkan dengan anggur. Kecepatan pengeringan biji coklat mendekati dua kali dari kecepatan pengeringan anggur. Hal ini

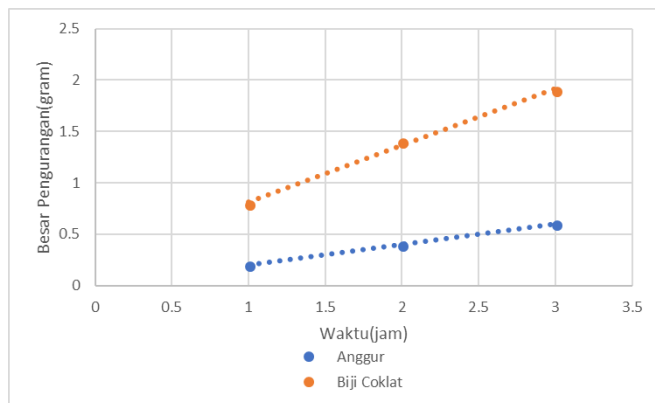
disebabkan oleh ketebalan anggur lebih besar dibandingkan dengan biji coklat, sehingga cahaya inframerah dapat menembus seluruh bagian biji coklat dari pada anggur.



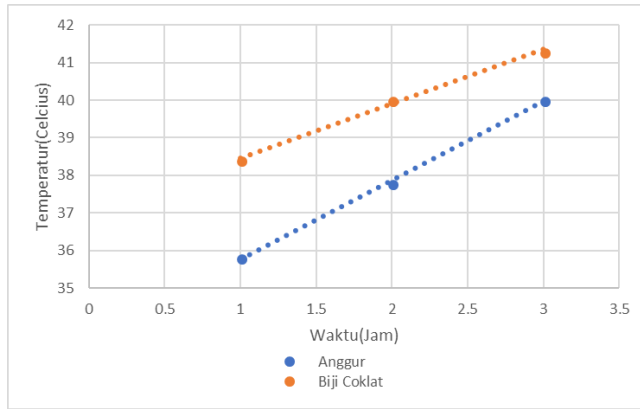
**Gambar 4.1.** Hasil Pembacaan Spektrum Elektromagnetik LED IR333C dengan PWM = 100%



**Gambar 4.2.** Kecepatan Pengeringan 100 LED dan 200 LED terhadap Anggur



**Gambar 4.3.** Perbandingan Hasil Kecepatan Pengeringan Anggur dan Biji Coklat dengan 200 LED



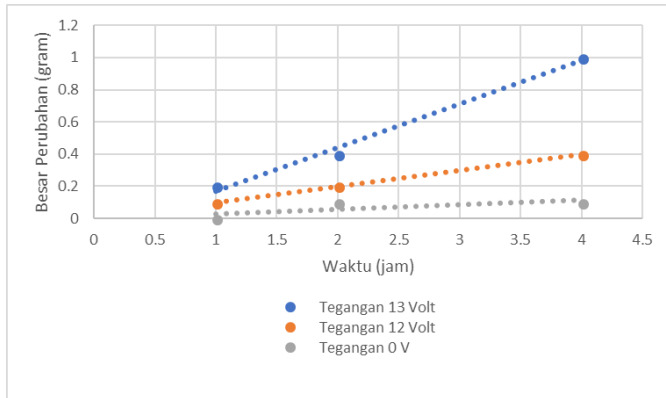
**Gambar 4.4.** Perbandingan Temperatur yang Dihasilkan dari Pengeringan Anggur dan Biji Coklat dengan 200 LED

#### 4.1.1. Pengujian LED *Bank* dengan Tegangan yang Berbeda

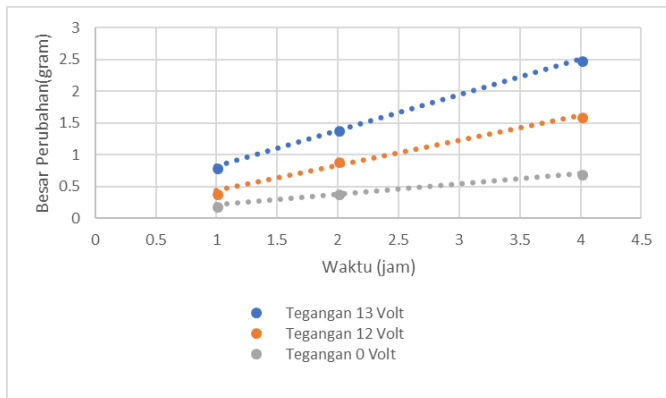
Pada pengujian LED *bank*, nilai sumber tegangan yang digunakan yaitu 13 V, 12 V dan 0 V serta jarak pengeringan yang sama yaitu 4 cm dari *platform*. Pengujian ini dilakukan terhadap anggur. Hasil dari pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.5.

Hasil dari pengujian ini menunjukkan bahwa semakin besar nilai tegangan sumber yang digunakan semakin besar pengurangan yang dihasilkan. Tegangan 13 V menjadi sumber tegangan yang menghasilkan pengurangan yang cukup besar dibandingkan dengan tegangan 12 V dan 0 V atau suhu normal ruangan.





(a)



(b)

**Gambar 4.5.** Hasil Pengujian dengan Tegangan Sumber yang Berbeda terhadap: (a) Anggur, (b) Biji coklat

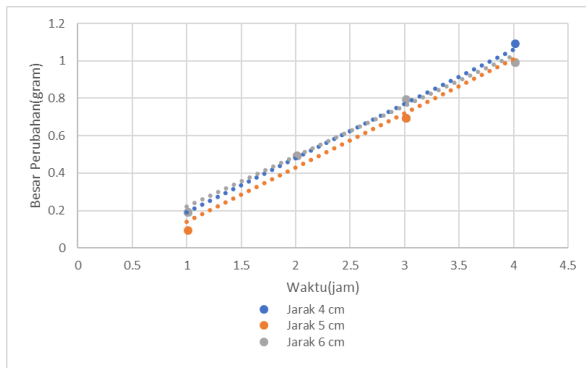
#### 4.1.2. Pengujian LED Bank dengan Jarak yang Berbeda

Pengujian selanjutnya dilakukan dengan jarak yang berbeda namun menggunakan tegangan yang sama dan berat yang sama seperti pengujian sebelumnya. Proses pengeringan dapat dilihat pada Gambar 4.6. Hasil dari pengujian tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.7 dan Gambar 4.8. Sedangkan perbedaan dari temperatur yang

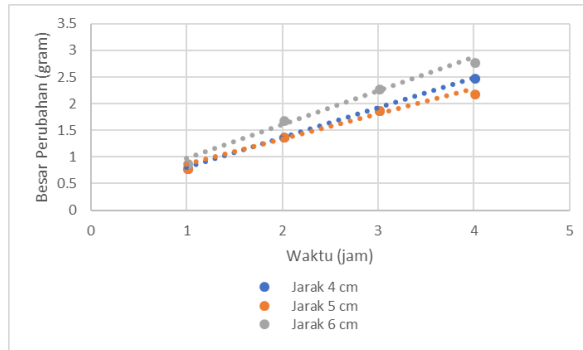
terjadi dapat dilihat pada Gambar 4.9. Dari gambar tersebut didapatkan dengan jarak 6 cm, kecepatan lebih optimal dibandingkan dengan jarak 5 cm dan 4 cm. Sedangkan untuk temperatur, nilai yang dihasilkan pada jarak 6 cm lebih tinggi.



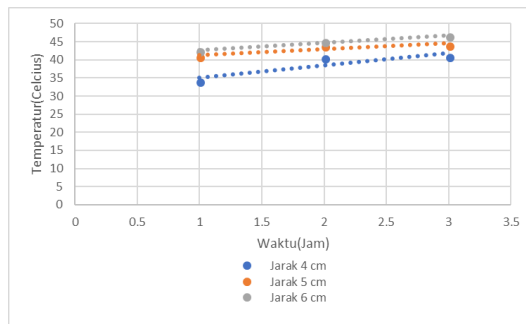
**Gambar 4.6.** Proses Pengeringan Anggur dengan 200 LED



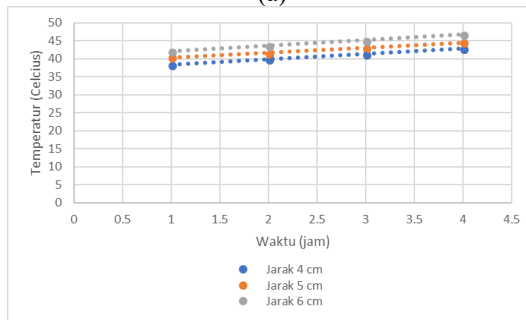
**Gambar 4.7.** Hasil Pengujian dengan Jarak Pengeringan yang Diubah terhadap Anggur



**Gambar 4.8.** Hasil Pengujian dengan Jarak Pengeringan yang Diubah terhadap Biji Coklat



(a)

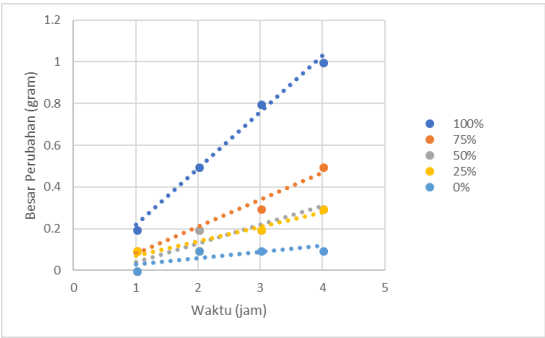


(b)

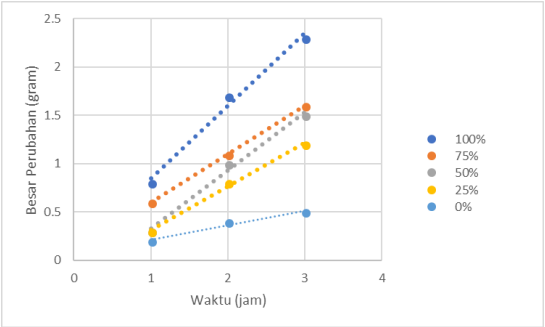
**Gambar 4.9.** Perbedaan Temperatur Pengujian dengan Jarak Berbeda terhadap: (a) Anggur, (b) Biji Coklat

4.2. Pengujian PWM Driver

PWM *driver* pada pengujian ini akan diubah – ubah. Pengubahan PWM akan mempengaruhi hasil dari pengeringan. Hasil dari pengujian terhadap anggur dan biji coklat dengan berat 4 hingga 7 gram dapat dilihat pada Gambar 4.10. Selain itu, dilakukan juga pengujian untuk pengeringan selama tiga jam dengan PWM bernilai 100%, 75%, 50%, dan 25%. Hasil dari pengujian pengeringan keempat PWM tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2. Kecepatan pengeringan berada pada kondisi maksimum pada PWM 100% dan akan berkurang seiring dengan berkurangnya PWM.



(a)



(b)

**Gambar 4.10.** Hasil Pengeringan Selama Tiga Jam dengan Nilai PWM Berbeda terhadap: (a) Anggur, (b) Biji Coklat

**Tabel 4.1.** Hasil Pengujian Empat nilai PWM dalam Waktu Tiga Jam terhadap Anggur

PWM	Pengujian ke-(gram)			
	1	2	3	4
100%	0,6	0,6	0,5	0,6
75%	0,4	0,3	0,4	0,4
50%	0,2	0,3	0,3	0,3
25%	0,2	0,2	0,2	0,2

**Tabel 4.2.** Hasil Pengujian Empat nilai PWM dalam Waktu Tiga Jam terhadap Biji Coklat

PWM	Pengujian ke-(gram)			
	1	2	3	4
100%	2,3	2,3	2,3	2,3
75%	1,6	1,6	1,5	1,6
50%	1,5	1,4	1,4	1,4
25%	0,8	0,8	0,7	0,7

#### 4.3. Pengujian Kipas XFAN 80

Pengujian dilakukan pada *prototype* dengan penempatan kipas yang berbeda. Posisi pertama yaitu digunakan kipas untuk melewatkan angin dari luar dan membuang udara yang ada di dalam ruang pengering seperti pada Gambar 4.11. Sedangkan posisi kedua hanya menggunakan kipas pembuangan udara yang ada di dalam ruangan seperti pada Gambar 4.12. Hasil pengeringan anggur dari kedua penempatan kipas tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.3. Pengujian yang dilakukan juga dilakukan ketika tegangan kipas diubah – ubah dan hasil dari pengujian tersebut dapat dilihat dapat Gambar 4.13.

Hasil dari pengujian dengan posisi kipas yang berbeda menunjukkan kemiripan sehingga posisi kipas tidak terlalu mempengaruhi proses pengeringan. Namun, jika di lihat pada grafik hasil pengeringan anggur dengan nilai tegangan kipas yang berbeda, ketika kipas tidak diaktifkan pengeringan lebih cepat dengan nilai temperatur dan kelembapan dalam waktu satu jam yaitu sekitar 44,5°C dan 10%.

**Tabel 4.3.** Hasil Pengeringan Anggur dan Biji Coklat

Waktu (jam)	Perubahan Berat (gram)			
	Posisi Kipas 1		Posisi Kipas 2	
	Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 1	Percobaan 2
1	0,1	0,1	0,1	0,1
2	0,2	0,2	0,3	0,2



**Gambar 4.11.** *Prototype* dengan Kipas Keluar dan Kipas Masuk

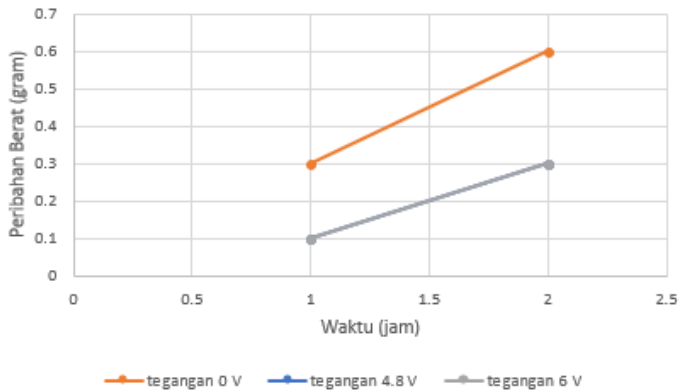


**Gambar 4.12.** *Prototype* dengan Kipas Keluar

#### 4.4. Pengujian *Load Cell*

Sebelum dimasukkan ke dalam sistem, *load cell* terlebih dahulu dilakukan kalibrasi dengan cara menimbang benda yang beratnya diketahui dan mencatat nilai hasil ADC dari masing – masing benda seperti pada Tabel 4.4 dan persamaan yang didapat dilihat dari

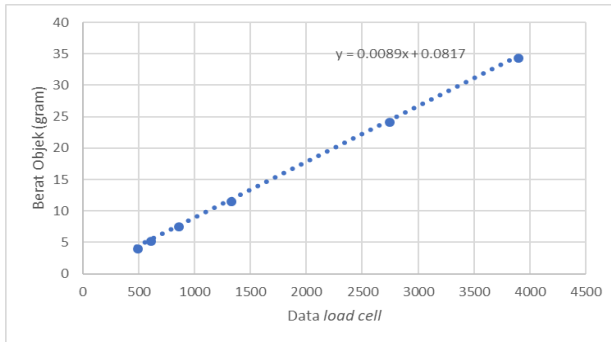
persamaan garis yang terbentuk pada Gambar 4.14. Kemudian persamaan tersebut diuji coba dengan benda yang beratnya telah diketahui. Hasil dari pembacaan dengan persamaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.5.



**Gambar 4.13.** Hasil Pengeringan dengan Nilai Tegangan Kipas Diubah – ubah terhadap Anggur

**Tabel 4.4.** Data ADC dari beberapa benda

Berat Benda (gram)	Berat yang Terbaca dalam ADC
34,5	3882
24,3	2734
11,7	1315
7,7	844
5,4	593
4,2	481



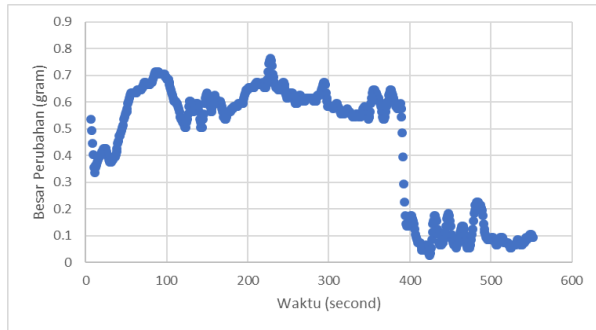
**Gambar 4.14.** Grafik dari data ADC yang diambil

**Tabel 4.5.** Hasil Pembacaan Berat Benda dengan Persamaan yang Diketahui

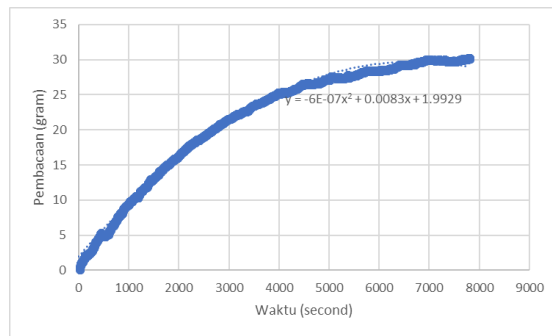
Berat Benda (gram)	Berat yang Terbaca Load Cell (gram)
14,4	14,52
19,4	19,51
44,6	44,55
45.2	45,08

Ketika pemanas diaktifkan, terjadi perubahan pembacaan terhadap *load cell* akibat perubahan panjang pada *strain gauge* sehingga nilai resistansi berubah sesuai dengan persamaan (2.2). Perbandingan hasil ketika pemanas diaktifkan dan tidak diaktifkan dapat dilihat pada Gambar 4.16 dan Gambar 4.15. Jika dilihat pada Gambar 4.15, nilai pembacaan *load cell* tidak stabil dengan nilai rentang *error* mendekati 0,8 gram. Nilai pembacaan ketika pemanas diaktifkan, pada awalnya mengalami penurunan hingga titik tertentu dan kemudian meningkat.

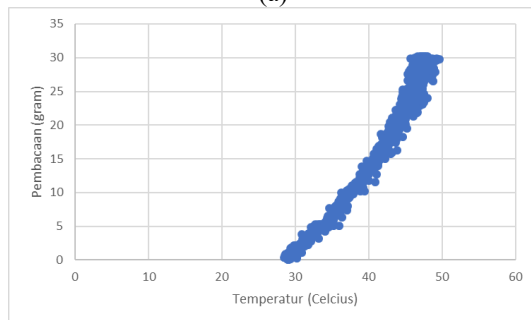




**Gambar 4.15.** Hasil Pengukuran 0-gram terhadap Waktu Ketika PWM Tidak Aktif



(a)



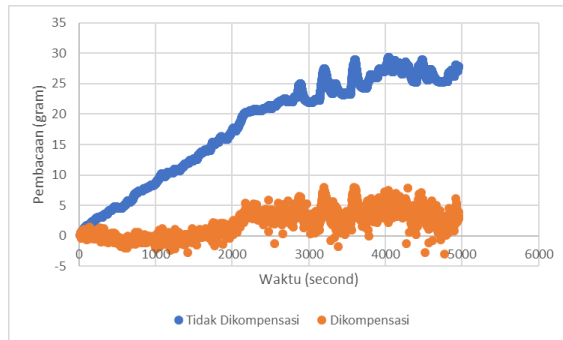
(b)

**Gambar 4.16.** Pembacaan *Load Cell* ketika Pemanas diaktifkan: (a) Perubahan terhadap Waktu, (b) Perubahan terhadap Temperatur

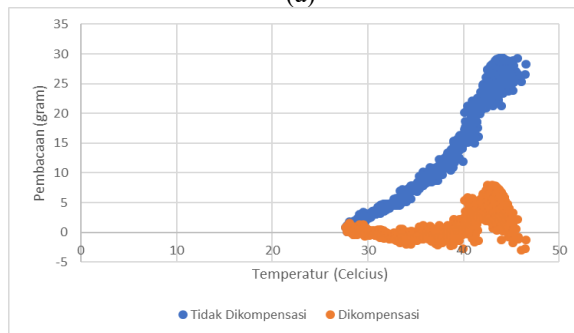
Untuk memperbaiki nilai pembacaan *load cell* ketika dipanaskan dilakukan kompensasi temperature sehingga nilai pembacaan mendekati nilai pembacaan yang sebenarnya. Hasil kompensasi *load cell* terhadap temperatur dapat dilihat pada Gambar 4.17.

#### 4.5. Pengujian Kontrol *Proportional*

Pengujian *proportional* dilakukan dengan memberikan beban sementara pada *platform*. Kemudian seiring dengan berjalannya waktu beban tersebut akan dikurangkan dari berat awal. Pada Tabel 4.6, diambil data pengujian dengan nilai  $K_p = 2,35$  dan diberikan *set point* anggur. Semakin besar pengurangan beban, semakin kecil pula PWM yang terbangkit.



(a)



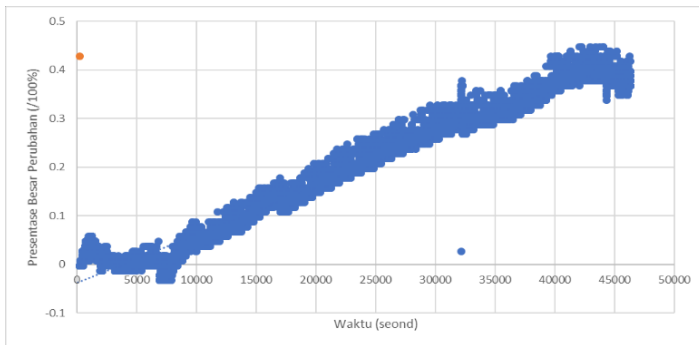
(b)

**Gambar 4.17.** Hasil Kompensasi dengan grafik terhadap: (a) Waktu  
(b) Temperatur

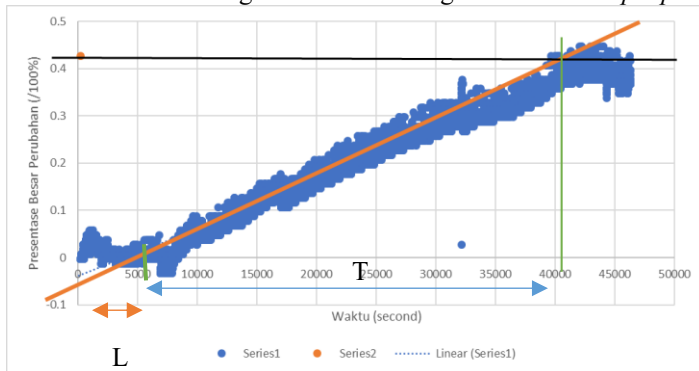
**Tabel 4.6.** Hasil Pengujian Sistem *Propotional* dengan  $K_p = 2,35$ ,  
*set point* anggur dan berat awal 26,88 gram

<i>Duty Cycle</i>	ADC dari PWM	Berat Terbaca (gram)
100%	255	26.88
100%	255	26.92
100%	255	26.88
100%	255	26.52
100%	255	26.14
100%	255	25.74
100%	255	25.13
99,2%	253	24.49
95,3%	243	24.03
90,6%	231	23.5
85,1%	217	22.89
80,8%	206	22.38
77,3%	197	22
76,5%	195	21.93
76,5%	195	21.95
76,5%	195	21.97
76,5%	195	21.97
76,5%	195	21.97
76,9%	196	21.97
76,9%	196	21.97
76,9%	196	21.97
76,9%	196	21.97
76,9%	196	21.96
76,5%	195	21.94
76,5%	195	21.91
76,1%	194	21.88
76,1%	194	21.86
75,7%	193	21.85
75,7%	193	21.84
75,7%	193	21.83
75,7%	193	21.81
48,9%	192	21.79
48,9%	192	21.78
48,9%	192	21.79
48,9%	192	21.79
48,9%	192	21.8
76,9%	196	21.97
76,9%	196	21.97

Kemudian dilakukan *tuning* dengan aturan Ziegler-Nichols sehingga didapatkan nilai dari penguatan proposional. Hasil dari masukan *step up* terhadap biji coklat dapat dilihat pada Gambar 4.17. Pada gambar grafik tersebut dicari titik balik bentuk grafik dan tarik hingga mencapai perpotongan sumbu x dan nilai *set point* seperti pada Gambar 4.18. Nilai L dan T yang didapatkan yaitu 6346,77 detik dan 34424,08 detik. Setelah menentukan nilai L dan T, dengan menggunakan persamaan pada Tabel 2.4 didapatkan nilai penguatan proposional  $K_p$  yaitu 5,42 dengan nilai *step up* yaitu 255.



**Gambar 4.18.** Pengambilan Data dengan Masukan *Step Up*



**Gambar 4.19.** Menentukan Nilai L dan T dari Grafik Masukan *Step Up*

#### 4.6. Pengujian Sistem Keseluruhan

Pengujian sistem keseluruhan merupakan pengujian terhadap seluruh rangkaian terutama LED *bank*, *load cell*, dan LM35D. Pembacaan dari *load cell* dan LM35D akan memberikan masukan ke dalam kontrol proporsional dan memberikan keluaran berupa penguatan terhadap nilai PWM. Hasil dari pengujian tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.19 dan Tabel 4.7. Kemudian dilakukan pengecekan untuk membandingkan pengurangan kadar air sesuai dengan *set point* dengan persamaan matematika dan alat ukur.

$$\begin{aligned}\text{Presentase kandungan air yang hialng dalam anggur} &= \frac{132,2 - 80}{132,2} \times 100\% \\ &= 39,5\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Presentase kandungan air yang hilang dalam biji coklat} &= \frac{131 - 75,1}{131} \times 100\% \\ &= 42,7\%\end{aligned}$$

Jika hasil perhitungan dibandingkan dengan *set point* yang diketahui maka untuk anggur memiliki eror sebesar 10,5% dan biji coklat eror sebesar 0,3% dengan nilai penguatan *proportional* yang sama. Sedangkan untuk pengukuran menggunakan alat pengukur kelembapan, pembacaan kelembapan anggur sebelum dikeringkan yaitu 68% dan hasil dari pengeringan yaitu 41% serta pembacaan kelembapan biji coklat sebelum dan sesudah dikeringkan yaitu 62% dan 8,5%. Dari hasil pengujian, hasil dari alat pembacaan kandungan air memiliki pembacaan yang kurang sesuai dengan pengeringan terutama anggur.

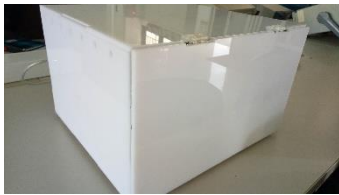


(a)



(b)

**Gambar 4.20.** Hasil Pengeringan Sistem Kontrol terhadap Anggur:  
(a) Sebelum, (b) Sesudah



**Gambar 4.21.** Realisasi *Prototype* Pengering

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1. Kesimpulan**

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan pada pelaksanaan penelitian ini didapat dengan menggunakan sinar inframerah sebagai sumber pengering, kecepatan pengeringan lebih cepat dibandingkan dengan pengeringan konvensional. Hal ini juga terjadi baik pada anggur maupun biji coklat dimana kecepatan pengeringan biji coklat lebih besar dibandingkan dengan anggur. Sistem kontrol PID yang digunakan memberikan kemudahan dalam pengaturan besar nilai PWM yang digunakan sebagai pengatur intensitas LED *bank*. Nilai penguatan proposional untuk biji coklat adalah 5,42. Untuk kalibrasi *load cell*, hasil pengujian menunjukkan adanya rentang *error* pembacaan yaitu mendekati 0,8 gram. Hasil pengujian dari alat pembacaan pengering dengan persamaan perhitungan kandungan air memiliki perbedaan yang kurang tepat terutama pada anggur. Kandungan air yang hilang pada anggur dengan menggunakan persamaan yaitu 39,5% dan dengan menggunakan alat pembaca kelembapan yaitu 27%. Sedangkan kandungan air yang hilang pada biji coklat ketika menggunakan persamaan dan alat pembaca kelembapan yaitu 42,7% dan 53,5%. Selain itu, penggunaan daya dari sistem pengering ini tidak terlalu besar yaitu sebesar 31,72 Watt.

#### **5.2. Saran**

Sebagai bentuk pengembangan sistem pengering ini, maka terdapat beberapa saran dari penulis berdasarkan hasil yang diperoleh saat pengujian, yaitu diperlukan adanya penelitian mengenai sensor berat yang digunakan mengingat *load cell* tipe *strain gauge* yang digunakan kurang stabil jika mengukur berat dalam bentuk gram. Selain itu, penggunaan sumber inframerah yang memiliki intensitas tinggi dan Panjang gelombang dalam rentang dimana molekul O dan H menyerap energi dari inframerah. Selain itu, perlu ditambahkan regulator arus agar arus yang masuk ke LED *bank* dapat dikontrol.

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Vega-Mercado, M. M. Góngora-Nieto, and G. V. Barbosa-Cánovas, “Advances in dehydration of foods,” *J. Food Eng.*, vol. 49, no. 4, pp. 271–289, Sep. 2001.
- [2] Sabarella, “Analisis Kinerja Perdagangan Kakao,” Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian Kementerian Pertanian 2016, Jakarta, 2016.
- [3] V. J. Siaigian, “Outlook Kakao,” Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian Kementerian Pertanian 2016, Jakarta, 2016.
- [4] Subdirektorat Statistika Hortikultura, “Statistik Tanaman Buah-buahan dan Sayuran Tahunan Indonesia 2015,” Badan Pusat Statistik Indonesia, Jakarta, Oktober 2016.
- [5] N. K. Sinha, Ed., *Handbook of fruits and fruit processing*, 2. ed. Ames, Iowa: Wiley-Blackwell, 2012.
- [6] A. Nadee, Y. Tirawanichakul, and S. Tirawanichakul, “Drying kinetics model and physical properties of herb Pandanus leaf,” in *Humanities, Science and Engineering (CHUSER), 2011 IEEE Colloquium on*, 2011, pp. 54–59.
- [7] L. Zhang and X. Wang, “Progress of internal, external structure and quality change of fruits and vegetables during infrared drying process,” in *New Technology of Agricultural Engineering (ICAE), 2011 International Conference on*, 2011, pp. 1077–1082.
- [8] J. S. Santosh and J. S. Vishnu, “Grape Dryer Using Infrared Radiation: An Experimental Study,” *J. Food Sci. Technol. Nepal*, vol. 8, pp. 18–22, 2014.
- [9] M. Tasumi and A. Sakamoto, Eds., *Introduction to experimental infrared spectroscopy: fundamentals and practical methods*. Chichester: Wiley, 2015.
- [10] K. Krishnamurthy, H. K. Khurana, J. Soojin, J. Irudayaraj, and A. Demirci, “Infrared heating in food processing: an overview,” *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, vol. 7, no. 1, pp. 2–13, 2008.
- [11] M. M. Enayet and H. H. El-Ghetany, “Equilibrium moisture content and latent heat of vaporization of grapes,” in *Energy Conversion Engineering Conference, 2002. IECEC'02. 2002 37th Intersociety*, 2004, pp. 664–667.
- [12] S. Isbister, *Cooking as a Chemical Reaction*. CRC Press, 2015.
- [13] L. Taşeri, M. Aktaş, S. Şevik, M. Gülcü, G. Uysal Seçkin, and B.

- Aktekeli, "Determination of drying kinetics and quality parameters of grape pomace dried with a heat pump dryer," *Food Chem.*, vol. 260, pp. 152–159, Sep. 2018.
- [14] J. C. Brennan and A. S. Grandison, Eds., *Food Processing Handbook*, 2nd ed., vol. 1. Weinheim: Wiley-VCH-Verl, 2012.
- [15] E. J. Koerperick, J. T. Olesberg, J. L. Hicks, J. P. Prineas, and T. F. Boggess, "Active Region Cascading for Improved Performance in InAs–GaSb Superlattice LEDs," *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. 44, no. 12, pp. 1242–1247, Dec. 2008.
- [16] A. K. Haghi and N. Amanifard, "Analysis of heat and mass transfer during microwave drying of food products," *Braz. J. Chem. Eng.*, vol. 25, no. 3, pp. 491–501, 2008.
- [17] Z. Pan and G. G. Atungulu, Eds., *Infrared heating for food and agricultural processing*. Boca Raton, FL: CRC Press, 2011.
- [18] M. Kumar, S. K. Sansaniwal, and P. Khatak, "Progress in solar dryers for drying various commodities," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 55, pp. 346–360, Mar. 2016.
- [19] Q. Jose Ignacio Priego, *Application of infrared thermography in sports science*. New York, NY: Springer Berlin Heidelberg, 2016.
- [20] J. S. Byrnes and North Atlantic Treaty Organization, Eds., *Unexploded ordnance detection and mitigation*. Dordrecht; [London]: Springer in cooperation with NATO Public Diplomacy Division, 2009.
- [21] R. K. Sadar, A. M. Someshwar, and R. P. Chaudhari, "Load cell based cross verification of packaging material," in *I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud)(I-SMAC), 2017 International Conference on*, 2017, pp. 460–463.
- [22] W. Boyes, Ed., *Instrumentation reference book*, 4. ed. Burlington, Mass.: Butterworth-Heinemann, 2010.
- [23] J. Fraden, *Handbook of modern sensors: physics, designs, and applications*, 3. ed., [Nachdr.]. New York, NY: AIP Press, Springer, 2004.
- [24] M. Pelgrom, *Analog-to-Digital Conversion*. Cham: Springer International Publishing, 2017.
- [25] G. A. Rincón-Mora, *Analog IC design with low-dropout regulators*, Second edition. New York Chicago , San Francisco: McGraw-Hill Education, 2014.
- [26] H. Youness, M. Moness, and M. Khaled, "MPSoCs and Multicore Microcontrollers for Embedded PID Control: A Detailed Study,"

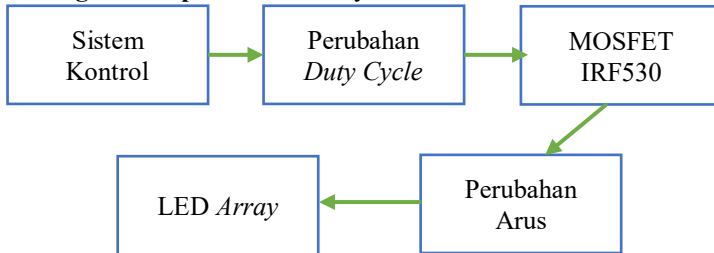
- IEEE Trans. Ind. Inform.*, vol. 10, no. 4, pp. 2122–2134, Nov. 2014.
- [27] A. Visioli, *Practical PID control*. London: Springer, 2006.
  - [28] P. D. Wijaya, M. Rivai, and T. Tasripan, “Rancang Bangun Mesin Pemotong Styrofoam 3 Axis Menggunakan Hot Cutting Pen dengan Kontrol PID,” *J. Tek. ITS*, vol. 6, no. 2, pp. A766–770, 2017.
  - [29] F. Winjaya, M. Rivai, and D. Purwanto, “Identification of cracking sound during coffee roasting using neural network,” 2017, pp. 271–274.
  - [30] A. O’Dwyer, “PI and PID controller tuning rules: an overview and personal perspective,” 2006.
  - [31] K. Ogata, *Modern Control Engineering*, 5. ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2010.
  - [32] R. H. Siregar, H. Hasan, and M. S. Rizal, “Design of DC light bulb for DC bus application,” 2017, pp. 61–65.
  - [33] Ray-Lee Lin, Jhong-Yan Tsai, Shun-Yao Liu, and Hsin-Wei Chiang, “Optimal Design of LED Array Combinations for CCM Single-Loop Control LED Drivers,” *IEEE J. Emerg. Sel. Top. Power Electron.*, vol. 3, no. 3, pp. 609–616, Sep. 2015.
  - [34] B. Lee, I. Hong, Y. Uhm, and S. Park, “The multi-touch system with high applicability using tri-axial coordinate infrared LEDs,” *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol. 55, no. 4, pp. 2416–2424, Nov. 2009.
  - [35] K. Angelino, D. A. Edlund, and P. Shah, “Near-Infrared Imaging for Detecting Caries and Structural Deformities in Teeth,” *IEEE J. Transl. Eng. Health Med.*, vol. 5, pp. 1–7, 2017.
  - [36] R. Zurawski, Ed., *Industrial communication technology handbook*, Second ed. Boca Raton: CRC Press, 2015.
  - [37] A. K. Jha and B. Singh, “A PFC Modified Landsman Converter-Based PWM-Dimmable RGB HB-LED Driver for Large Area Projection Applications,” *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 53, no. 2, pp. 1552–1561, Mar. 2017.
  - [38] N. Arsyistawa, M. Rivai, and S. Suwito, “Aplikasi Wireless Sensor Network Untuk Pembacaan Meteran Air,” *J. Tek. ITS*, vol. 6, no. 2, pp. A762–765, 2017.
  - [39] M. S. Ramadhan and M. Rivai, “Sistem Kontrol Tingkat Kekerusuhan pada Aquarium Menggunakan Arduino Uno,” *J. Tek. ITS*, vol. 7, no. 1, Mar. 2018.
  - [40] D. I. Pratiwi and J. A. R. Hakim, “Rancang Bangun Deteksi Jalur Pipa Terpendam Menggunakan Mobile Robot dengan Metal Detector,” vol. 6, no. 1, p. 7, 2017.

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

## LAMPIRAN A

### Perancangan Elektronik dari LED Array

#### 1. Diagram Proses Perubahan dari Sistem Kontrol hingga digunakan pada LED Array



#### 2. Nilai Arus Terhadap Perubahan PWM

<i>Duty Cycle (%)</i>	ADC dari PWM	Arus (mA)
100	255	990
75,3	192	560
50,2	128	370
25,1	64	160

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

## **LAMPIRAN B**

### **Program Keseluruhan**

```
int DOUT = 3;
int sck = 2;
int LEDBank = 5; //980Hz
int TX = 0; //RX Arduino
int RX = 1; //TX Arduino connected by 1k(TX) and 2k(GND)
int read_button = 8; //button start LED Bank and reset it
int LED_one = 7; //indicator for actived mode 1
int LED_two = 9; //indicator for actived mode 2
int tempPin = A0;

unsigned char status_zero_offset = 0;
long int zero_offset = 0;
long int raw_read;
int PWM, mode_machine;
float before, output, initial_weight;
float error, erSum, erDer, lastEr, dec, persen;
float weight, weight1, tes;

int z, a;
int long b;
float x, tempC, cel, temp_storage, reading;

float Ts = 400;

float kd;
float ki;
float kp = 2,35;
float setpoint; // grape from 80% to 10%. cocoa 60% to 8%

unsigned long rnow, last, timeChange, after, back, firstCal;
unsigned long awal, akhir;

void setup() {
    // put your setup code here, to run once:
    Serial.begin(9600);
    analogReference(INTERNAL);

    pinMode(LEDBank, OUTPUT);
    pinMode(sck, OUTPUT);
    pinMode(TX, OUTPUT);
```

```

pinMode(LED_one, OUTPUT);
pinMode(LED_two, OUTPUT);
pinMode(DOUT, INPUT_PULLUP);
pinMode(read_button, INPUT_PULLUP);
pinMode(RX, INPUT);
pinMode(tempPin, INPUT);
}

void loop() {
// put your main code here, to run repeatedly:
  if(a < 5000){
    temp_storage = cel;
    if(a<1){
      awal = millis();
    }
  }
  a++;
}

if (!status_zero_offset) {
  for (int x = 0; x < 50; x++) {
    zero_offset = read_loadcell();
  }
  status_zero_offset = 1;
}

raw_read = (read_loadcell() - zero_offset) * 0.001;
weight = 0.0089 * raw_read;

reading = analogRead(tempPin);
tempC = (reading / 1024) * 1100;
cel = tempC / 10;
start_end_machine();

if (mode_machine > 0){
  if(PWM == 0 && temp_storage == 0){
    PWM =255;
  }
  if (z < 2){
    temp_storage = cel;
    z++;
  }
}

```



```

    if (weight < 1){
        weight = 0;
    }
    else{
        x = cel - temp_storage;
        weight1 = 0.0089 * raw_read - (0.1429*cel*cel - 8.9488*cel + 137.02);
    }

    compute();

    if (PWM > 255) {
        PWM = 255;
    }
    if (PWM < 0) {
        PWM = 0;
    }
}

akhir = millis();
float beda = akhir - awal;
if ((beda/1000) > b * 0.9){
    analogWrite(LEDBank, PWM);
    Serial.print(beda/1000);
    Serial.print(" ");
    Serial.print(PWM);
    Serial.print(" ");
    Serial.print(weight);
    Serial.print(" ");
    Serial.print(weight1);
    Serial.print(" ");
    Serial.print(cel);
    Serial.print(" ");
    Serial.println(percen);
    b++;
}

}

void start_end_machine() {
    if (digitalRead(read_button) == LOW) {
        while(digitalRead(read_button) == LOW);
        mode_machine++;
    }
}

```

```

    }
    else if(mode_machine > 2){
        mode_machine = 0;
    }

    switch(mode_machine){
        case 0:
            setpoint = 0;
            digitalWrite(LED_one, HIGH);
            digitalWrite(LED_two, HIGH);
            break;
        case 1:
            setpoint = 0.5;
            digitalWrite(LED_one, HIGH);
            digitalWrite(LED_two, LOW);
            break;
        case 2:
            setpoint = 0.43;
            digitalWrite(LED_one, LOW);
            digitalWrite(LED_two, HIGH);
            break;
    }
}

void compute() {
    if (weight > 1 || (weight < 1 && initial_weight > 1)) {
        rnow = millis();
        timeChange = (float)((rnow - last));

        if (timeChange >= Ts) {
            //after = millis();
            //firstCal = (float)((after - back));

            if (before >= weight) {
                if (initial_weight <= 0) {
                    initial_weight = before;
                }

                //computing all error variables
                if (initial_weight > 0) {
                    //Plant , try to use Ziegler-Nichols with PWM=255
                    dec = initial_weight - weight;
                    persen = dec / initial_weight;
                }
            }
        }
    }
}

```

```

//Controller
error = setpoint - persen;
erSum += error * timeChange / 1000;
erDer = (error - lastEr) * 1000 / timeChange;

//computing PID output
//output = kp * error + ki * erSum + kd * erDer;
output = kp * error;
PWM = 255 * output;
//save some data
lastEr = error;
//back = after;
    }
}
//save some data
before = weight;
last = rnow;
}
}
}

//calculale low folter with average
long int FilterAverage(long int raw_read) {
    static float FilterAverage_buffer[50];
    float FilterAverage_sum = 0;
    float FilterAverage_avg = 0;

    for (int x = 0; x < 49; x++) {
        FilterAverage_buffer[x] = FilterAverage_buffer[x + 1];
    }
    FilterAverage_buffer[49] = raw_read;

    for (int x = 0; x < 50; x++) {
        FilterAverage_sum += FilterAverage_buffer[x];
    }
    FilterAverage_avg = FilterAverage_sum / 50;

    return FilterAverage_avg;
}

//reading loadcell
long int read_loadcell() {

```

```

unsigned long int loadcell_buffer = 0x00000000;
unsigned long int loadcell_mask = 0x80000000;

digitalWrite(sck, LOW);

while (digitalRead(DOUT));

//output with gain 128 (sck = 25) & 64 (sck = 27)
for (int x = 0; x < 24; x++) {
    digitalWrite(sck, HIGH);
    delayMicroseconds(25);
    digitalWrite(sck, LOW);

    if (digitalRead(DOUT)) {
        loadcell_buffer += loadcell_mask;
    }
    loadcell_mask = loadcell_mask >> 1;

    delayMicroseconds(25);
}

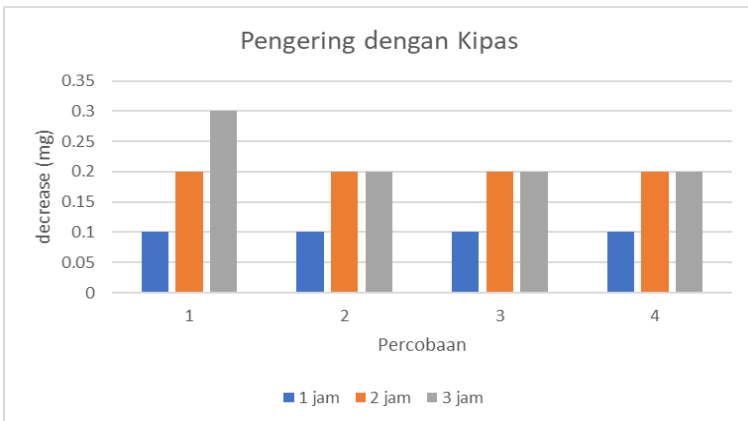
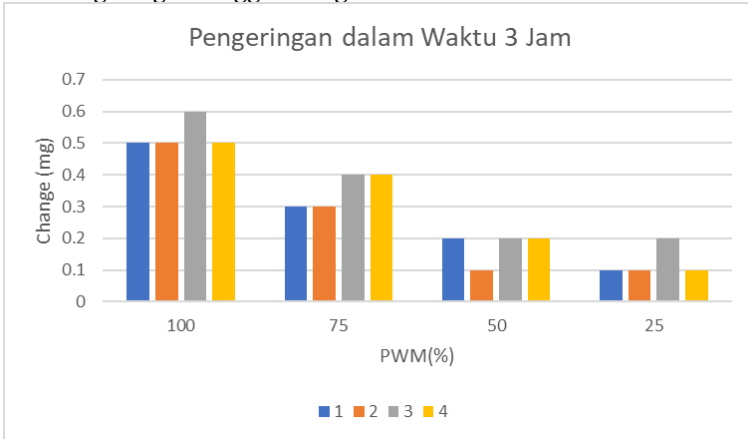
for (int x = 0; x < 1; x++) {
    digitalWrite(sck, HIGH);
    delayMicroseconds(25);
    digitalWrite(sck, LOW);
    delayMicroseconds(25);
}
return FilterAverage(loadcell_buffer);
}

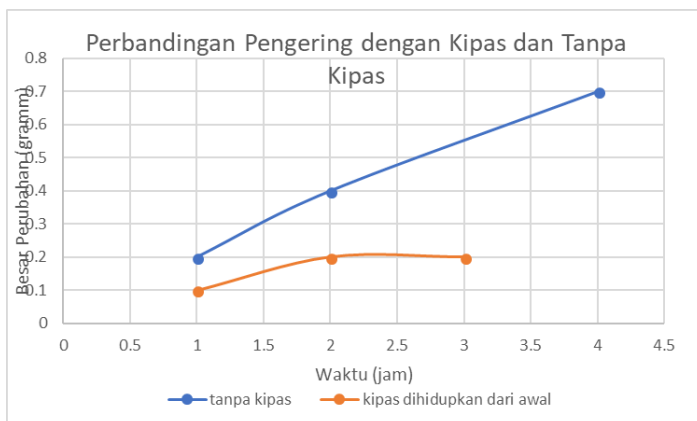
```

## LAMPIRAN C

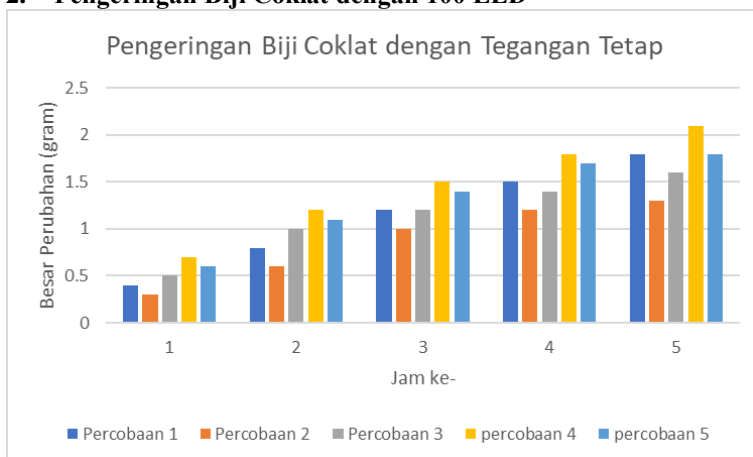
### Data Pengeringan

#### 1. Pengeringan Anggur dengan 100 LED

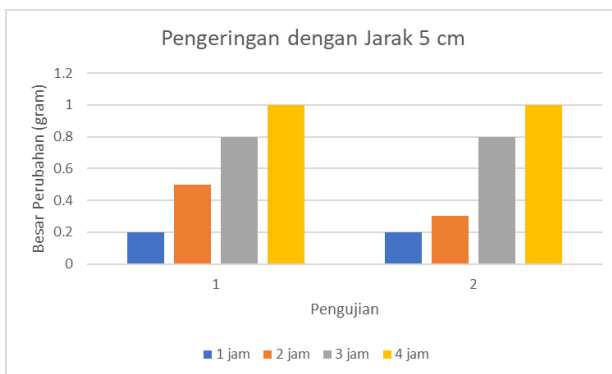
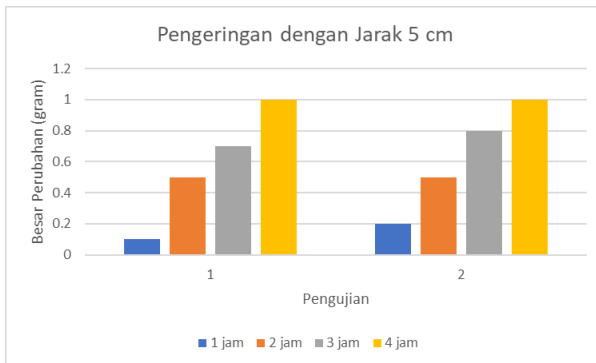
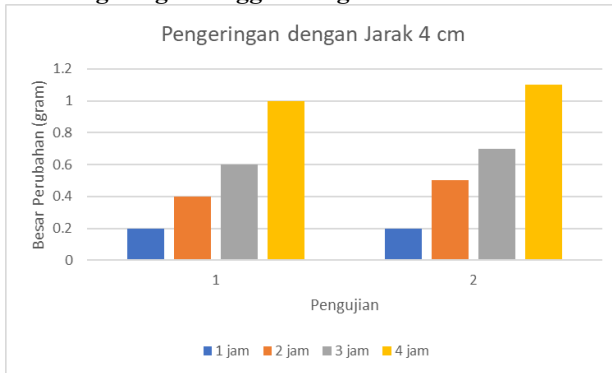


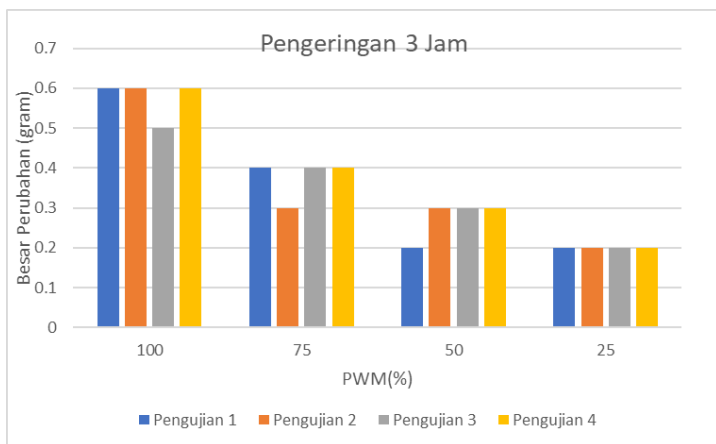


## 2. Pengeringan Biji Coklat dengan 100 LED



### 3. Pengeringan Anggur dengan 200 LED

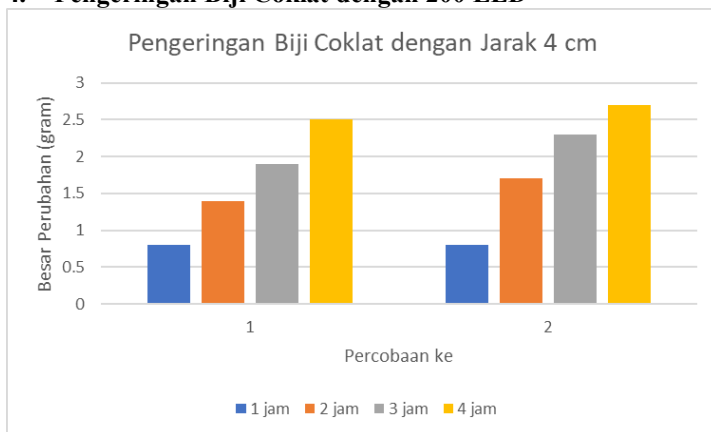




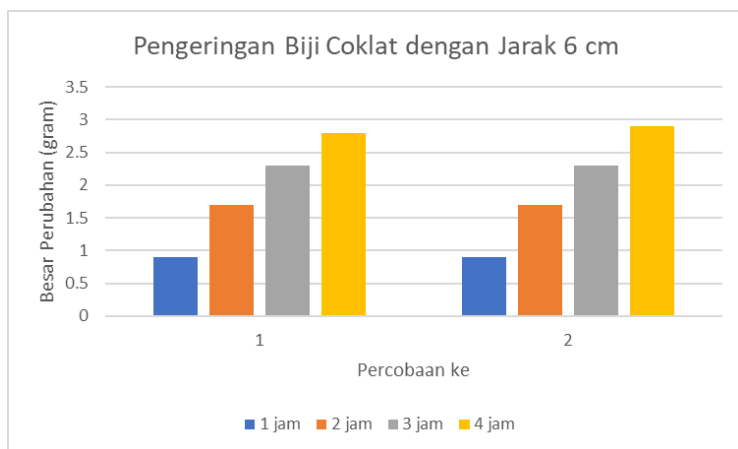
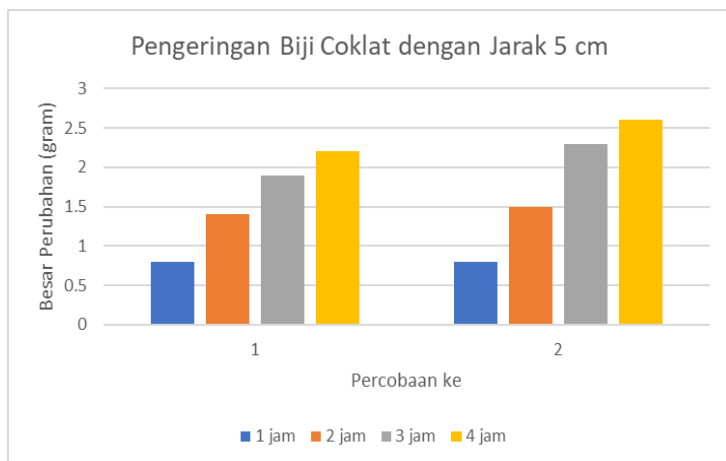
**Tabel Perubahan Berat dan Temperatur terhadap Perubahan PWM**

PWM	Penguian							
	1 temp		2 temp		3 temp		4 temp	
25%	0.6	30.9	0.6	31.8	0.5	30.5	0.6	32.4
50%	0.4	34.1	0.3	34.5	0.4	34.1	0.4	34.7
75%	0.2	39.9	0.3	39.3	0.3	40.1	0.3	40.1
100%	0.2	46.6	0.2	44.5	0.2	45.5	0.2	46.6

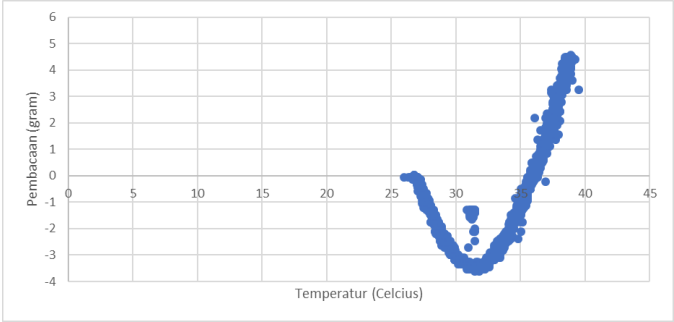
#### 4. Pengeringan Biji Coklat dengan 200 LED



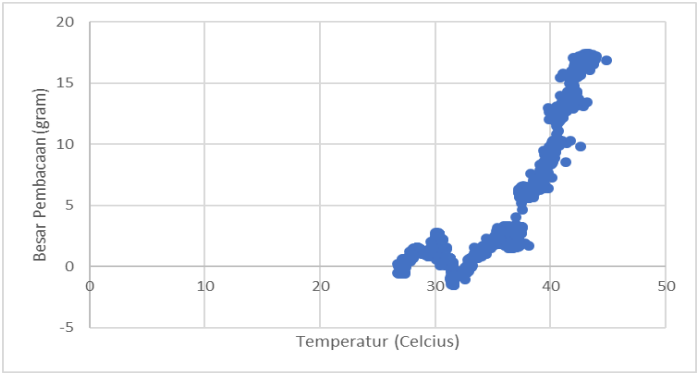




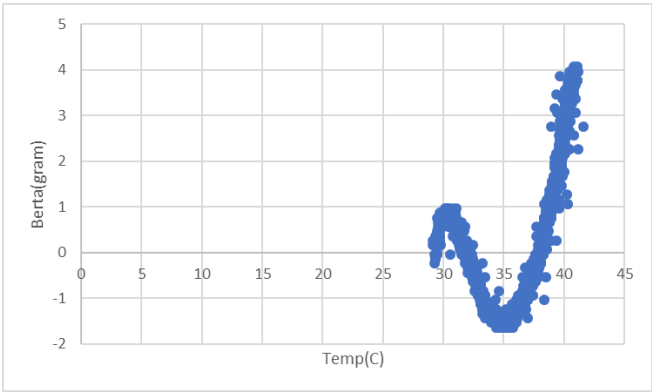
**5. Pembacaan *Load Cell* saat Dipanaskan**  
**Percobaan 1**



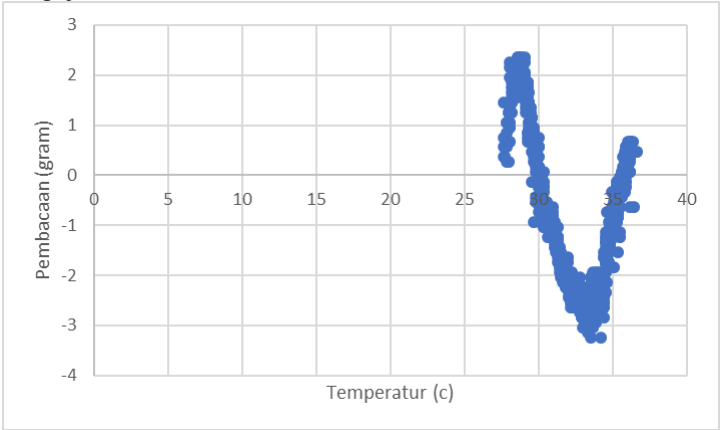
**Percobaan 2**



**Percobaan 3**



Pengujian 4



.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

## LAMPIRAN D

### Dokumentasi

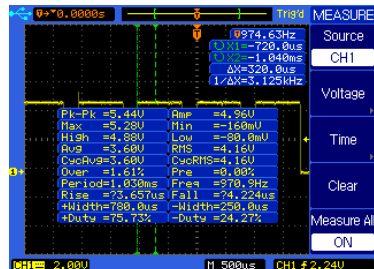
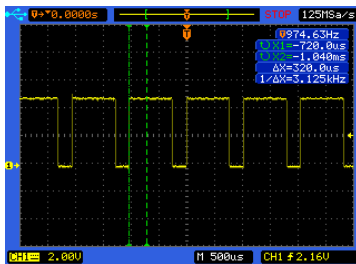
#### 1. Hasil Pengeringan Biji Coklat Sebelum Dikeringkan



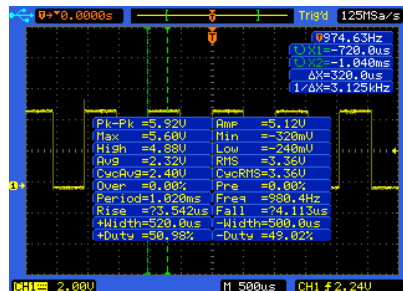
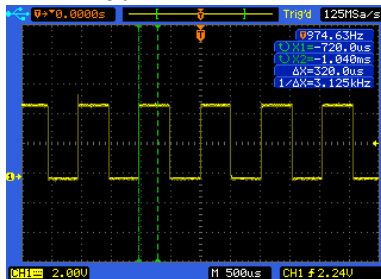
#### Setelah Dikeringkan



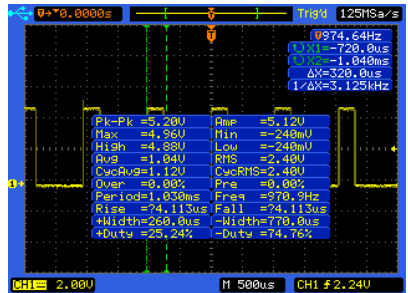
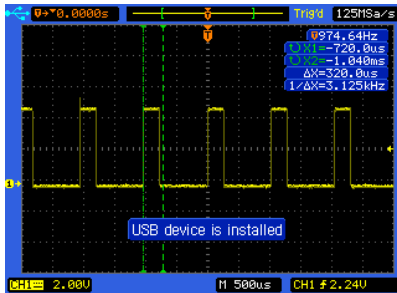
#### 2. Sinyal PWM yang Digunakan PWM 75 %



#### PWM 50%



### PWM 25%



### 3. Pembacaan Kandungan Air dengan Alat Pembaca Kelembapan



Sebelum



Sesudah

## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Balikpapan pada tanggal 29 Maret 1996. Sebagai anak kedua dari dua bersaudara, penulis mengawali kegiatan pendidikan formal di SD Negeri 001 Balikpapan Utara, yang kemudian dilanjutkan di SMP Negeri 1 Balikpapan, SMA Negeri 10 Samarinda dan pada tahun 2014 penulis diterima sebagai mahasiswa di Departemen Teknik Elektro ITS. Selama menjalani perkuliahan, penulis aktif dalam kepanitian dan organisasi baik di

lingkungan jurusan maupun lingkungan institut. Selain itu, penulis juga turut berpartisipasi sebagai asisten praktikum di bidang studi elektronika.

Email : [khirun2903@gmail.com](mailto:khirun2903@gmail.com)  
Hp/WA : 081545667891  
Instagram : [@khairunnisanurhandayani](https://www.instagram.com/khairunnisanurhandayani)  
Line : khirun2903